



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de l'environnement, des transports,
de l'énergie et de la communication DETEC
Office fédéral de l'énergie OFEN

Rapport final (Présentations)

Journée romande de la géothermie 2010

Potentiel, recherche et développement de la géothermie. Avancement des projets d'importance dans le canton de Vaud et en Suisse romande

Mandant:

Office fédéral de l'énergie OFEN
Programme de recherche xxx
CH-3003 Berne
www.bfe.admin.ch

Mandataire:

Centre Romand de Promotion de la Géothermie - CRPG - geothermie.ch
c/o PAC'info Sàrl,
Rue Saint-Roch 36,
1400 Yverdon-les-Bains
www.geothermie.ch

Auteurs:

voir programme
Organisation :
André Freymond, andre.freymond@geothermie.ch
Stéphane Cattin, stephane.cattin@geothermie.ch

Responsable de domaine de l'OFEN: Gunter Siddiqi

Chef de programme de l'OFEN: Rudolf Minder

Numéro du contrat et du projet de l'OFEN: 500'522-01 / 500'522

Les auteurs de ce rapport portent seul la responsabilité de son contenu et de ses conclusions.



Journée romande de la géothermie 2010

Potentiel, recherche et développement de la géothermie.
Avancement des projets d'importance dans le canton de Vaud et en Suisse romande

Mardi 28 septembre 2010

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud - heig-vd
Route de Cheseau 1 – 1400 Yverdon-les-Bains

Sommaire documentation électronique

- Programme détaillé avec liens
- Documents présentés par les conférenciers

Organisation

SSG-SVG-geothermie.ch - Centre romand de promotion de la géothermie – CRPG
André Freymond et Stéphane Cattin
c/o PAC'info sàrl – Rue St-Roch 36 – 1400 Yverdon-les-Bains
Tél. 024 425 22 83, fax : 024 426 02 12
Emails : andre.freymond@geothermie.ch et stephane.cattin@geothermie.ch

Avec le soutien de



SEVEN
Service de l'environnement
et de l'énergie

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Office fédéral de l'énergie OFEN


Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion
du Canton de Vaud

Programme détaillé

	Thématique traitée	Timing	Intervenant	Horaire
	<i>Accueil des participants – Café, croissants</i>	45'		08:45-09:30
PDF	1. Ouverture de la manifestation et Message de bienvenue du Directeur de la heig-vd	10'	A. Freymond et C. Kunze	09:30-09:40
PDF	2. Présentation et rôle du Swiss Geothermal Network – SGnet	10'	J.-F. Zürcher	09:40-09:50
PDF	3. Contributions actuelles de la géothermie dans le canton de Vaud et visions à long terme dans le bilan énergétique cantonal aux niveaux thermique et pourquoi pas électrique	20'	F. Schaller	09:50-10:10
PDF	4. Conditions d'implantation des ouvrages géothermiques dans le canton de Vaud et cadastre géologique	20'	M. Marrel	10:10-10:30
PDF	5. Le cadastre géothermique 3D du canton de Vaud – projet APOGEE. Un futur outil d'aide à la décision pour les installations géothermiques de basse enthalpie et Projet CCES Geotherm pour optimiser géologie et énergétique des systèmes profonds	20'	Prof. A. Parriaux	10:30-10:50
Données non publiées	6. La structure profonde du bassin lémanique et informations sur l'Atlas sismique du bassin molassique en Suisse à paraître	25'	Prof. F. Marillier	10:50-11:15
PDF	7. La norme SIA 384/6 – Sondes géothermiques	30'	J. Wilhelm	11:15-11:45
	<i>Repas de midi</i>			11:45-13:15
PDF	8. AGEPP 2011 – Le premier projet de géothermie profonde romand à l'aube du forage profond	30'	P. Vinard & G. Bianchetti	13:15-13:45
PDF	9. Programme cantonal de dév. de la géothermie à Neuchâtel et transfert de technologie pour les projets de géothermie profonde	30'	F.-D. Vuataz	13:45-14:15
PDF	10. Le projet "Géothermie profonde La Côte" (VD) Etat d'avancement du projet	30'	P. Vallat	14:15-14:45
PDF	11. Le forage de Noville-1 (VD) Géologie, hydrogéologie, géothermie, recherche de gaz naturel et état d'avancement du projet	30'	W. Leu	14:45-15:15
	<i>Pause café</i>			15:15-15:45
PDF	12. Le projet "Géothermie de moyenne profondeur à Thônex – MICA" (GE) Etat d'avancement du projet	30'	D. Sidler	15:45-16:15
PDF	13. Formation en géothermie proposée à l'Univ. de Neuchâtel et Méthodes d'exploration applicables dans des projets de géothermie profonde	30'	Prof. Eva Schill	16:15-16:45
	<i>Clôture de la manifestation – Apéritif</i>			16:45-17:45

Visite M. Beglé



Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion
du Canton de Vaud

from knowledge to business

28.09.10

1



www.heig-vd.ch

Etudes Bachelor of sciences

- Ingénierie
- Economie



Cheseaux



St-Roch



Y-Parc

- HEIG-VD: le plus grand campus de la HES-SO

from knowledge to business

3

La HEIG c'est

1522	étudiants-es bachelor
1	campus, 3 bâtiments
637	employé-es
66%	des étudiants du canton de Vaud
17%	étudiants étrangers
59	nationalités
68	millions de budget
15,7	millions de projets de Ra&D
10	MAS & CAS de formation continue

from knowledge to business

Notre vision et stratégie

- **From knowledge to business**
 - Mettre la connaissance en action

From knowledge to business

heig-vd ////////////////

Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud

<http://www.heig-vd.ch>

from knowledge to business

5



from knowledge to business



Présentation et rôle du SGnet

Jean-François Zürcher Président

Journée romande de la géothermie
2010

HEIG-VD

28 septembre 2010



Historique (1/3)

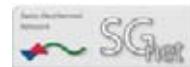
- Fin 2004, création du Centre de Recherche En Géothermie (CREGE) à Neuchâtel
- Buts
 - Agir comme centre national de recherche et de formation
 - Conduire des programmes de recherche
 - Faire connaître les potentialités et applications
 - Renforcer la coordination et la coopération

Historique (2/3)

- Indépendant de l'UNI de Neuchâtel, mais lié par convention au Centre d'hydrogéologie (CHYN)
- Membres: Institutions ou entreprises
- Équipe de recherche dirigée par F. Vuataz
- Montant annuel des mandats 300'000 à 500'000 CHF

Historique (3/3)

- Principales réalisations:
 - Plusieurs analyses de potentiels géothermiques
 - Elaboration du programme national de recherche PROGEOTHERM
 - Etudes spécifiques pour des projets tant en Suisse qu'à l'étranger
 - Réalisation d'une maquette didactique multimédia



2009 Année charnière

- Création d'un *Laboratoire de géothermie* à l'Uni Neuchâtel qui regroupe toutes les activités de recherche, de formation et de transfert technologique
- L'association CREGE modifie ses statuts et devient **Le Réseau Suisse de Géothermie – SGnet**
- Création de la *Geothermal Investment Center Sàrl (GIC)*



Buts du SGnet

- Etablir un réseau de compétence
- Etre le partenaire du *Laboratoire de géothermie* (transfert de technologie)
- Soutenir les programmes de recherche et de développement
- Renforcer la coordination et la coopération
- Etre un des membres fondateurs de la *Geothermal Investment Center Sàrl (GIC)*



Prestations pour les membres (1/2)

- Les membres de l'Association **SGnet** sont tenus informés des travaux menés par le *Laboratoire Suisse de Géothermie*, reçoivent le rapport annuel d'activités et ont un accès privilégié à la documentation de celui-ci.
- Ils peuvent être associés, sous certaines conditions, aux travaux du *Laboratoire*, plus particulièrement dans le domaine du transfert technologique.



Prestations pour les membres (2/2)

- A la fin du mois de novembre, un accès «Extranet» réservé aux membres, permettra un échange étroit d'informations entre eux, respectivement avec le *Laboratoire de Géothermie*.

Engagement des membres

- En fonction de leurs activités:
- A conseiller le *Laboratoire Suisse de Géothermie*.
- A faire participer, le cas échéant, celui-ci à leurs projets de recherche et/ou de développement.
- A appuyer le *Geothermal Investment Center Sàrl (GIC)*, dans ses recherches de financement.

La géothermie profonde

- Est une source d'énergie renouvelable importante pour notre indépendance énergétique future
- Doit encore faire l'objet de recherche
 - pour accroître de la connaissance de notre sous-sol afin de limiter les risques
 - Pour améliorer les technologies de forage, d'échange et de valorisation de l'énergie thermique obtenue.
- Nécessite de regrouper et coordonner nos forces afin que son usage se généralise dans



L'association SGnet

Constituée aujourd'hui de 59 membres, joue un rôle essentiel de courroie de transmission et de coordination entre le *Laboratoire Suisse de Géothermie* et

- les institutions publiques et parapubliques
- Les bureaux d'ingénieurs spécialisés
- Les entreprises énergétiques



N'hésitez pas à visiter notre site
www.sgnet.ch

Merci de votre attention

Jean-François Zürcher
Président du SGnet



Contributions de la géothermie dans le canton de Vaud



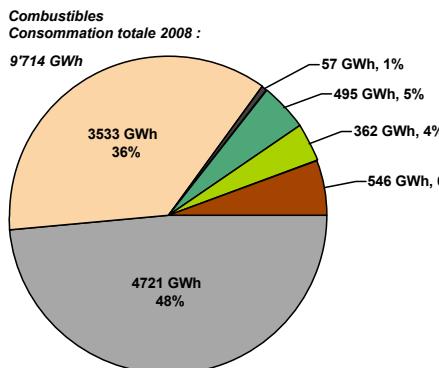
François Schaller
Ingénieur

Les perspectives énergétiques

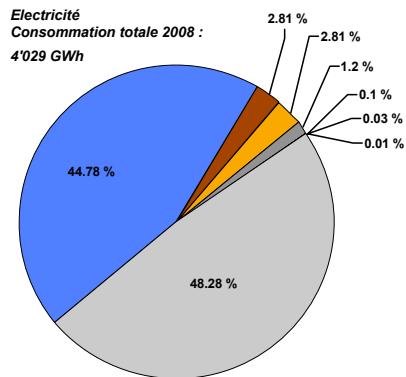
HALTE À LA POLLUTION
TERRE EN FUSION



Bilan de la consommation cantonale d'énergie



- Combustibles pétroliers
- Gaz
- Charbon
- Bois
- Chaleur à distance
- Déchets



- Hydraulique
- Déchets
- Nucléaire
- Fossile
- Eolienne
- Solaire
- Biomasse
- Autres agents non vérifiables

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

Production d'énergie réalisée dans le canton

Chaleur	GWh
Bois	274
Déchets et rejets thermiques	273
PAC (pompe à chaleur, part tirée de l'environnement)	203
Géothermie profonde	17
Solaire thermique	8
Biomasse (autre que le bois)	0
STEP (Vidy)	19
TOTAL	794

Électricité	GWh
Gaz	16
Eolien	0
Hydraulique	893
Géothermie profonde	0
Solaire photovoltaïque	1
Biomasse (autre que le bois)	66
Déchets	6
TOTAL	982

Perspectives énergétiques pour Vaud en 2035 (Weinmann-Energies, février 2010)

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010



Potentiel géothermique VD

No du projet : 40/594	Programme Géothermie	Sous mandat de L'Office fédéral de l'énergie
No de la décision : 88175		

ETAT DE VAUD
DÉPARTEMENT DE LA SÉCURITÉ ET DE L'ENVIRONNEMENT
SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'ÉNERGIE
DIVISION DE L'ÉNERGIE

RAPPORT FINAL – JUILLET 2003

**Evaluation du potentiel géothermique
du canton de Vaud**

Géostructures énergétiques (GE)
Aquifères profonds (AP)
Géothermie haute énergie (HE)

Préparé par

Groupement PGV
Jules Wilhelm, Ing.-conseil, Pully
Gabriele Bianchetti, ALPGEO, Sierrae
François-D. Vuataz, Univ. Neuchâtel
c/o Jules Wilhelm, Ing.-conseil
Ch. Du Fau-blanc 26
1009 Pully

EPFL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

SERVICE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'ÉNERGIE
SEVEN

Atlas du potentiel géothermique très basse énergie de
l'Etat de Vaud
Projet APOGEE VD

Etude n° 0813
Lausanne, le 1 avril 2009

INSTITUT D'ÉTUDES D'INFRASTRUCTURES DES RÉSOURCES ET DE L'ENVIRONNEMENT
GENEVE - FORMATION DE L'INGÉNIERIE ET DE L'ENVIRONNEMENT

Délégué : Prof. A. Perrin

UNIVERSITÉ LAUSANNAISE

Téléphone 010 64 11 80

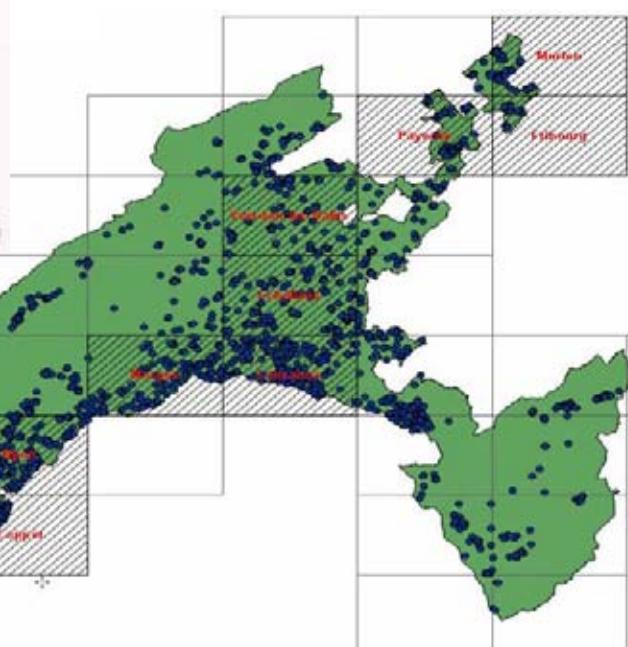
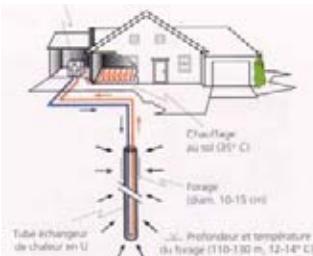
Fax 010 64 11 81

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010



Ressources géothermiques de basse énergie



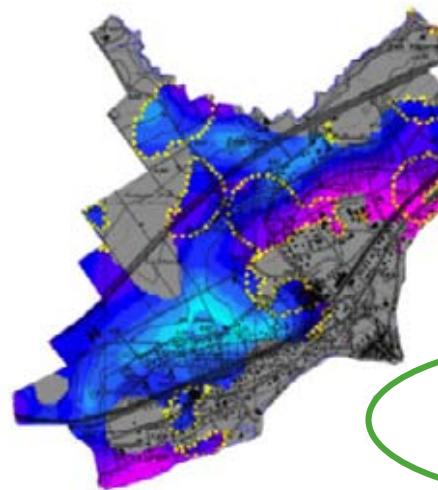
La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

Objectifs du cadastre géothermique:

- Aide à la conception de projets et à la planification (choix énergétique approprié)
- Faciliter les procédures d'autorisation
- Promotion des énergies renouvelables

Service de l'environnement
et de l'énergie



La géothermie dans le canton de Vaud

Public cible:
- planificateurs
- particuliers
- services publics

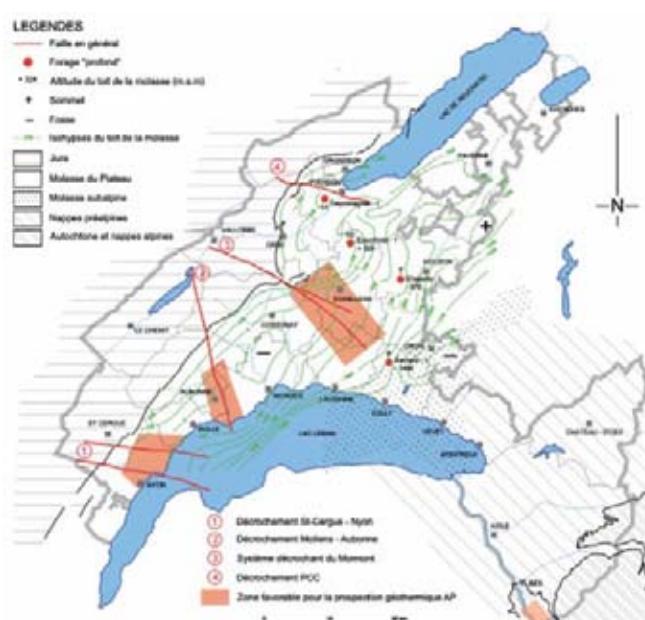
Domaines considérés:
- sondes géothermiques
- géostructures énergétiques
- doublets géothermiques

Yverdon, le 28 septembre 2010

Service de l'environnement
et de l'énergie



Aquifères profonds



Zones favorables
à la prospection
d'aquifères profonds

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

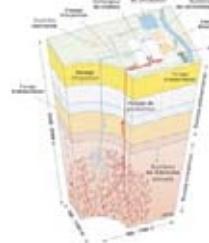
Potentiel théorique des aquifères profonds

AQUIFERE DU MALM							AQUIFERE DU DOGGER				
Localité	Habitants	Gradient (°C/km)	Profond. moy. (m)	Temp. moy. (°C)	Potentiel (MWth)	Profond. forage (m)	Profond. moy. (m)	Temp. moy. (°C)	Potentiel (MWth)	Profond. forage (m)	Potentiel total
							Epaisse. totale de la série: 500 m Epaisse. cumulé aquifère: 370 m Débit estimé : 20 l/s			Epaisse. totale de la série: 300 m Epaisse. cumulé aquifère: 120 m Débit estimé : 10 l/s	
Nyon ou Gland	8'200 5'000	33	850	38	2.3	1'000	1'850	71	2.6	2'000	4.9 MWth
Aubonne ou Etoy	1'350	35	750	36	2.2	900	1'550	64	2.3	1'700	4.5 MWth
Echallens	2'250	35	1'100	49	3.2	1'250	2'050	82	3.0	2'200	6.2 MWth
Ecublens + La Sarraz	1'350	35	400	24	1.2	550	1'250	54	1.8	1'400	3.0 MWth
Morges	7'300	35	1'050	47	3.1	1'200	2'150	85	3.1	2'300	6.2 MWth
Cossonay + Penthaz	2'500	35	900	42	2.6	1'050	1'750	71	2.6	1'900	5.2 MWth
Payème	3'600	30	1'860	66	4.7	2'010	2'200	76	2.8	2'350	7.4 MWth
Ecublens (EPFL)	4'850	29	1'650	58	4.0	1'800	2'200	74	2.7	2'350	6.7 MWth
Moudon	2'200	34	1'500	61	4.3	1'650	2'550	97	3.6	2'700	7.9 MWth

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

Systèmes géothermiques stimulés (SGS)



Zones urbaines potentielles	Flux de chaleur	Proximité du socle	Potentiel de consommateurs de chaleur	Classement des zones urbaines ¹
Yverdon-les-Bains	3	3	2	8
Orbe	3	3	1	7
Région Lausanne	2	1	3	6
Montrœux	2	2	2	6
Morges	2	1	2	5
Moudon	2	2	1	5
Payème	2	2	1	5
Vevey	2	1	2	5
Nyon	1	1	2	4

¹ Classement des zones urbaines : somme des points attribués aux trois critères.

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010



Perspectives énergétiques


Programme cantonal vaudois visant à améliorer l'efficacité énergétique et à développer la production d'énergie renouvelable

Perspectives énergétiques pour le canton de Vaud à l'horizon 2035

Version du 12 février 2010

Rue d'Yverdon 4 – Case postale 300 – CH-1640 Yverdon
Tél. 021/600 28 28 – Fax 021/600 28 30 – E-mail : simec@environnement.vaud.ch



La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010



Objectifs énergétiques

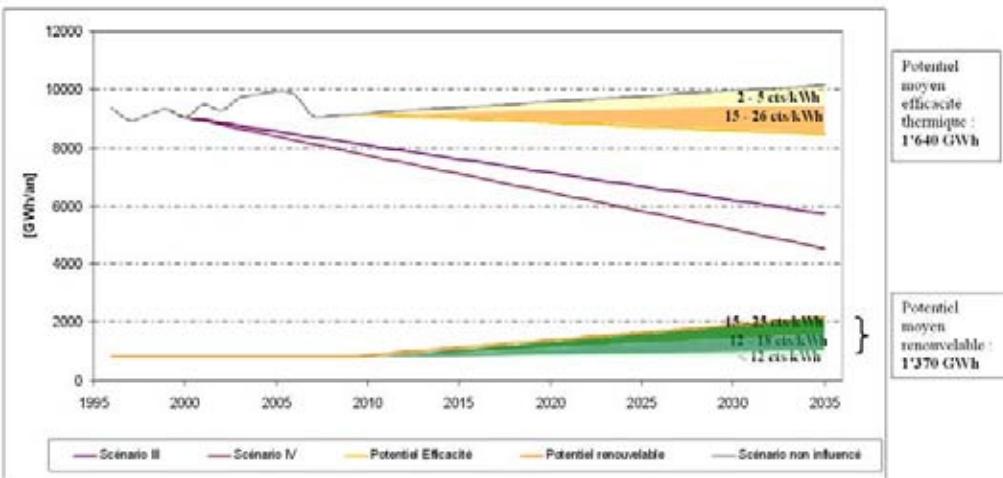
- Programme de législature:**
 - Réduction des émissions de CO₂ de 1,5 millions de tonnes d'ici 2035
- Perspectives énergétiques 2035:**
 - Scénario III: réduction de CO₂ de 35%, soit env. 1,5 millions de tonnes pour VD
 - Scénario IV: réduction de CO₂ de 41 à 49%, société à 2000 Watts

	Situation 2000 [GWh]	Situation 2008 [GWh]	Scénario non influencé 2035 [GWh]	Scénario III 2035 [GWh]	Scénario IV 2035 [GWh]
Energie finale	17'600	19'300	23'800	15'100	12'800
Combustibles	9'000	9'700	10'200	5'700	4'500
Carburants	5'100	5'600	7'700	3'500	2'800
Electricité	3'500	4'000	5'800	3'900	3'400

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

Effet des mesures dans le domaine des combustibles



Perspectives énergétiques pour Vaud en 2035 (Weinmann-Energies, février 2010)

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

Potentiel de développement des énergies indigènes

Mesures de production d'énergie thermique			
	Coût moyen [mios Frs]	Potentiel Moyen [GWh/an]	Coût de l'énergie [Fr/kWh]
Chauffage de quartier et chaudières individuelles à bois	530	120	0.22
Couplage chaleur force à partir du biogaz	430	195	0.11
STEP et Rejets thermiques	à définir	à définir	
Pompes à chaleur en remplacement des chauffages électriques	1495	440 (32%)	0.17
Solaire thermique	1880	475	0.20
Géothermie profonde	670	150 (11%)	0.15
Total des mesures	3510	1380 (100%)	

Perspectives énergétiques pour Vaud en 2035 (Weinmann-Energies, février 2010)

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

Merci de votre attention

Service de l'environnement
et de l'énergie



Centrale
géothermique
en Islande

La géothermie dans le canton de Vaud

Yverdon, le 28 septembre 2010

Conditions d'implantation des ouvrages géothermiques dans le canton de Vaud

et cadastre géologique

Michel Marrel
Hydrogéologue cantonal

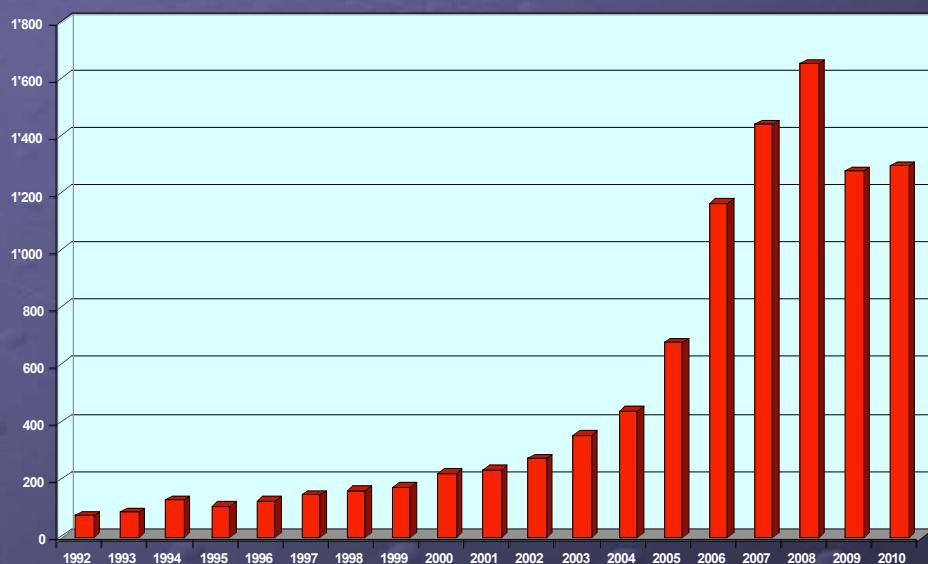
Service des Eaux, Sols et Assainissement (SESA)
Division Eaux Souterraines

Canton de Vaud

PAC – Protection des eaux souterraines

BASES LEGALES ZONES, SECTEURS DE PROTECTION PROCEDURE, AUTORISATIONS GEOLOGIE, AQUIFERES FORAGES / RISQUES

Evolution des demandes PAC (autorisations et demande préalables)



BASES
LEGALES

ZONES, SECTEURS
DE PROTECTION

PROCEDURE,
AUTORISATIONS

GEOLOGIE,
AQUIFERES

FORAGES /
RISQUES

- **Loi fédérale sur la protection des eaux** (LPEP du 8.10.71, mod. le 24.01.91 = LEaux)
- **Ordonnance fédérale sur la protection des eaux** (OEaux du 28.10.98)
- **Instructions pratiques pour la protection des eaux souterraines** (OFEV 2004) page 66, exploitation de l'énergie du sol et du sous-sol
- **Directives OFEV:** Exploitation de la chaleur tirée du sol et du sous-sol (2009)
- **Norme SIA 384/6:** Sondes géothermiques (2009)

BASES
LEGALES

ZONES, SECTEURS
DE PROTECTION

PROCEDURE,
AUTORISATIONS

GEOLOGIE,
AQUIFERES

FORAGES /
RISQUES

- **Loi cantonale sur la protection des eaux contre la pollution** (17.09.1974)
- **Règlement sur l'utilisation des pompes à chaleur** du 26.05.1999 (modifiant celui du 25.08.1982)
- **Loi réglant l'occupation et l'exploitation des eaux souterraines** dépendant du domaine public cantonal (12.05.1948)

- Loi fédérale sur la protection des eaux (LEaux)

- Art.43

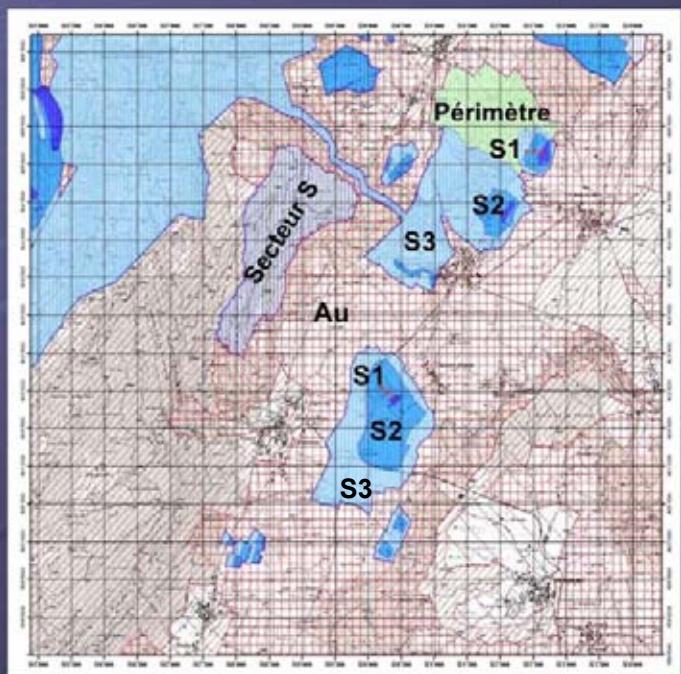
³La création de communications permanentes entre des nappes souterraines est interdite si une telle intervention peut diminuer les réserves en eaux souterraines ou altérer leur qualité (24.01.1991)

Carte 1:25'000

Zones et secteurs de protection des eaux

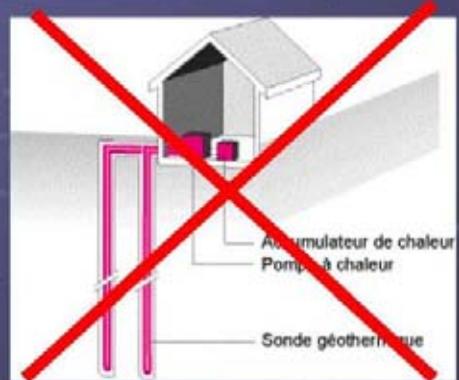
Légende

Secteurs	A	[Hatched pattern]
Secteurs	B	[Cross-hatched pattern]
Secteurs	C	[Diagonal hatching]
Secteurs	S	[Vertical hatching]
Zones	S1	[Solid blue]
Zones	S2	[Light blue]
Zones	S3	[Very light blue]
Périmètres	PP	[Green]



● **Zones S1, S2 et S3:**

Les forages pour sondes verticales ou pour les pompages à la nappe sont **interdits**.



● **Zone S3:**

Sont autorisés uniquement les collecteurs **horizontaux** contenant des liquides caloporteurs dans les circuits souterrains.



● **Evaluation d'un projet de forage:**

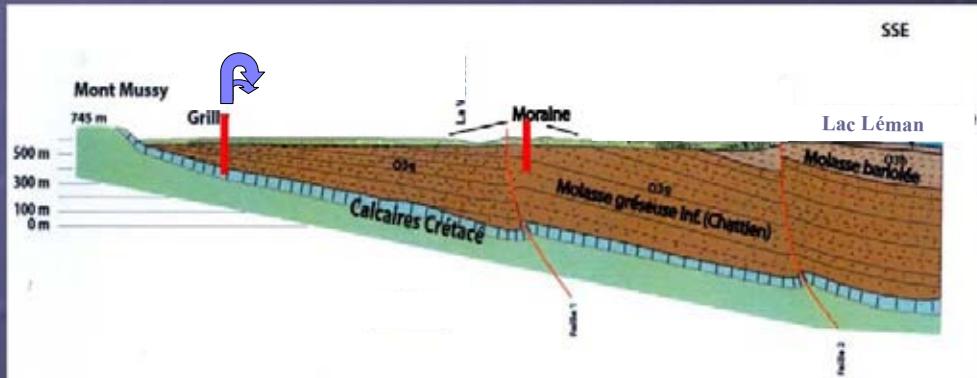
- Hydrogéologie, aquifères et captages d 'intérêt public
- Géologie (profondeur forée admissible)
- Sources privées
- Glissements de terrain
- Sites pollués

• Unités tectoniques de la Suisse



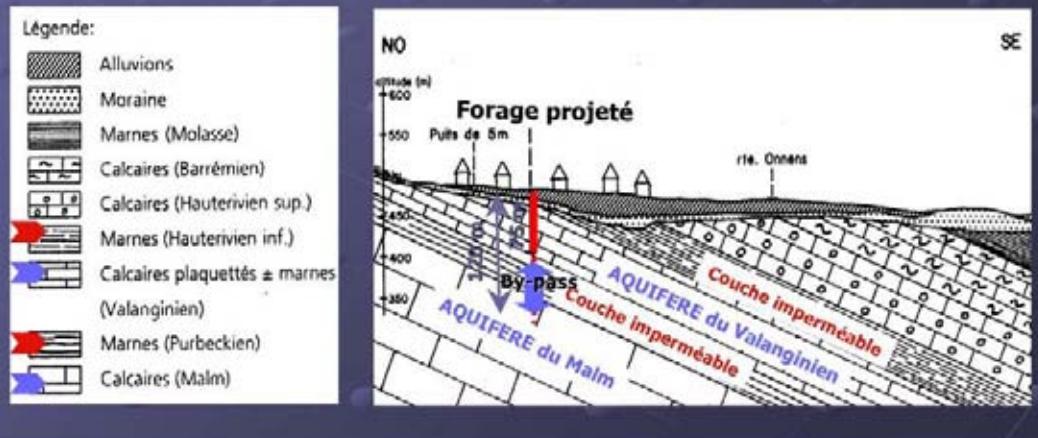
• Forage dans la molasse:

- Perforation des calcaires -> eau sous pression, artésianisme ?
- Profondeur des forages limitée à la molasse



- Forage dans les **calcaires**:

- forage de 120m ?** mise en relation d'aquifères, préavis NEGATIF
- forage de 75m ?** couche imperméable non perforée entièrement, projet admissible



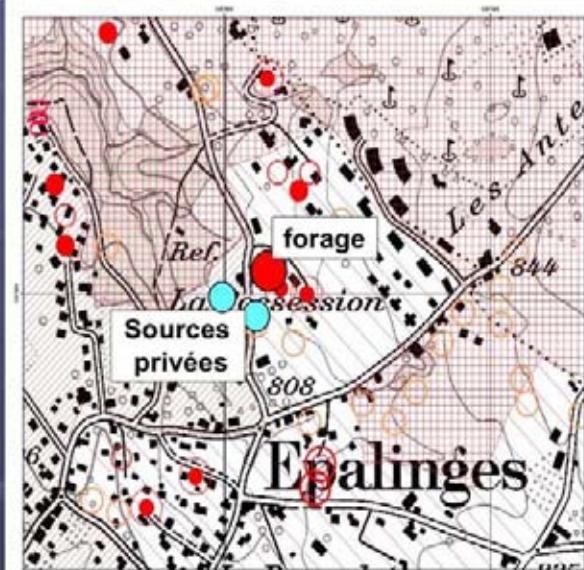
- Aquifère en **roches calcaires (karst)**:

- gouffres, dolines et sources
- complications fréquentes lors des travaux de forage si cavités ou fissures
- gradient géothermique inférieur à la moyenne



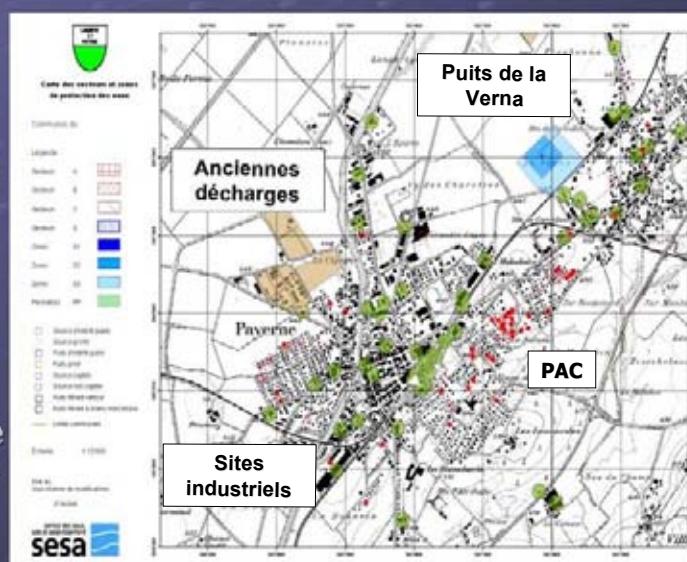
● **Captages privés** (environ 15'000 sources et puits répertoriés dans le canton)

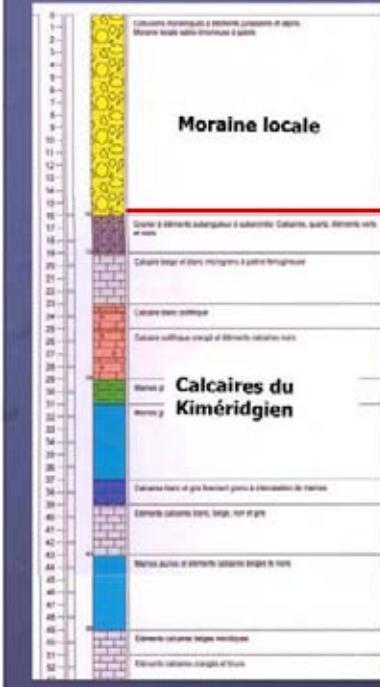
- risque d'interférence hydraulique
- altération de la qualité de l'eau captée
- baisse de débit
 - > avis hydrogéologique de faisabilité
 - > surveillance hydrogéologique des travaux de forages



● Forage dans un **site pollué**

- Anciennes décharges
- Sites industriels
- Risques d'introduction de substances polluantes en profondeur
 - > interdiction de forer ou
 - > évacuation conforme des terrains et boues de forage, tubages, etc...





● LOG DE FORAGE:

- Un **bureau d'hydrogéologues**, mandaté par le maître d'œuvre, doit établir un **descriptif lithologique** du sous-sol accompagné d'un bref rapport sur les conditions géologiques et hydrogéologiques rencontrées.
- Les échantillons doivent être prélevés au minimum tous les deux mètres.
- Le rapport de forage et la coupe sont à envoyer au Service des eaux, sols et assainissement (**SESA**), rue du Valentin 10, 1014 Lausanne

● Risques majeurs

- Mise en communication d'**aquifères superposés (by-pass)**
- Interférences avec des **captages existants**
- Introduction depuis la surface de **substances polluantes** dans les aquifères profonds
- Présence de **gaz géogènes**
- Perte de l' installation par **cisaillement des sondes**
- **Gel des sondes**, perte de cohésion avec la roche encaissante, de l'étanchéité et du rendement thermique

- Procédure d'autorisation de forer
 - Demande préalable
 - Autorisation cantonale
 - Annonce de forage (loi cadastre géologique)

Cadastre géologique du canton de Vaud

- **Effondrement** de février 2005 dans le quartier **de Saint-Laurent** à Lausanne, lors des travaux de percement du m2.



Lausanne, M2
subway tunnel
(under construction)
collapse, 2005

- Besoin de disposer d'un **cadastral centralisé** contenant toutes les informations sur le sous-sol.
- Conserver la mémoire du sous-sol (**sauvegarde** systématique des **données géologiques**).



São Paulo, subway
tunnel (under
construction)
collapse, 2007



Hangzhou, subway
tunnel (under
construction)
collapse, november
2008

Cadastre géologique - La loi

- Jette les bases institutionnelles pour la création d'un **véritable cadastre géologique vaudois** réunissant **systématiquement** les informations géologiques de base.
- **Obligation de transmettre** à l'autorité cantonale les informations issues de toute opération de sondage (assurer l'exhaustivité de l'information).
- Permet la **diffusion publique** des résultats de sondage (exception: données liées à des enjeux économiques ou commerciaux → statut de confidentialité).

Adopté le 06.11.2007, entrée en vigueur le 01.01.2008 - Etat au 01.07.2009 (en vigueur)

LOI sur le cadastre géologique (LCG)	211.65
du 6 novembre 2007	

- Outil informatique basé sur le **concept de « cyberadministration »** (outil Internet/Intranet accessible à travers la toile) et constitué de composants « Open Source » libres de tout droit ou de licence.
- Les **partenaires** y accèdent moyennant un **compte sécurisé**.
- **L'administration met à disposition** l'outil informatique, gère la base de données, le processus de collecte via Internet, la qualité des données.
- Les **bureaux privés saisissent les données** à travers un formulaire Internet (standards d'échanges). Les bureaux peuvent utiliser l'outil pour leurs propres besoins.

Cadastre géologique – L'outil informatique



« Homepage »

Cadastre géologique – L'outil informatique

Une partie tout public

Differentes possibilités de tri des données

Une application bilingue (Français – Allemand) (développements en cours)

Géologie

Carte des sondages géologiques

Position Carte

Sond. X 125499.44
Sond. Y 125500.82

plus profond que [m]
Réalisé de à [m] à [m]

Type de sondage: Trou Trou avec rapport associé Trou avec information géologique

Basé sur: Trou Trou avec rapport associé Trou avec information géologique

Reset Afficher

Carte des sondages géologiques

Le survol vous informe du risque tectonique

Liens

Une partie tout public

Cadastre géologique – L'outil informatique

Géologie

Carte des sondages géologiques

Position Carte

Sond. X 125499.44
Sond. Y 125500.82

plus profond que [m]
Réalisé de à [m] à [m]

Type de sondage: Trou Trou avec rapport associé Trou avec information géologique

Basé sur: Trou Trou avec rapport associé Trou avec information géologique

Reset Afficher

Documents originaux en PDF

Données structurées

CSD Ingénierie + Conseil SA

SONDAGE T

Zone de sondage

Surface inférieure de la formation	Surf de référence	Alt. à l'origine	Autor.	Surf. de la formation	Bouclier	Réf.
0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m

Sondage

Nom du sondage	Alt. inférieure	Date de réalisation
Sondage 52	0.00 m	11.11.2009

Horizon du sondage

Altitude	Altitude supérieure	Épaisseur	Caractéristique	Code	Notes
0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	0.00 m	

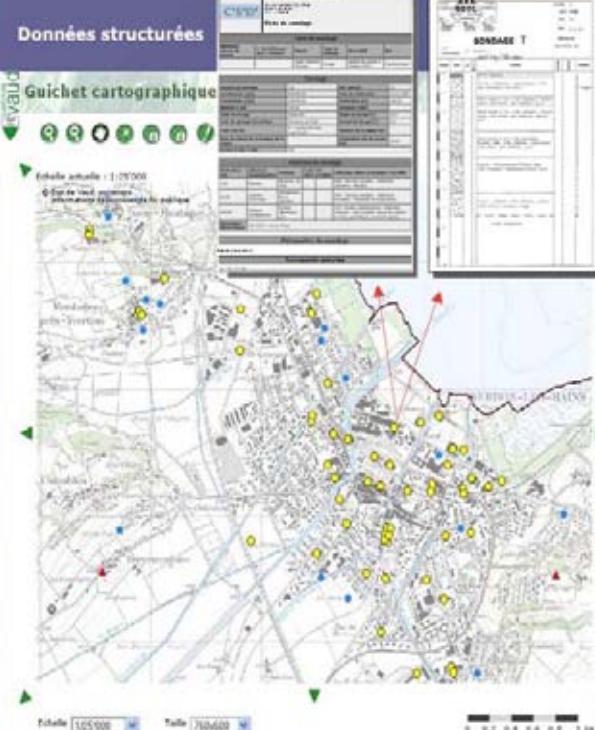
Piézomètre du sondage

Documents associés

Données structurées

Cadastre géologique – L'outil informatique

Données structurées



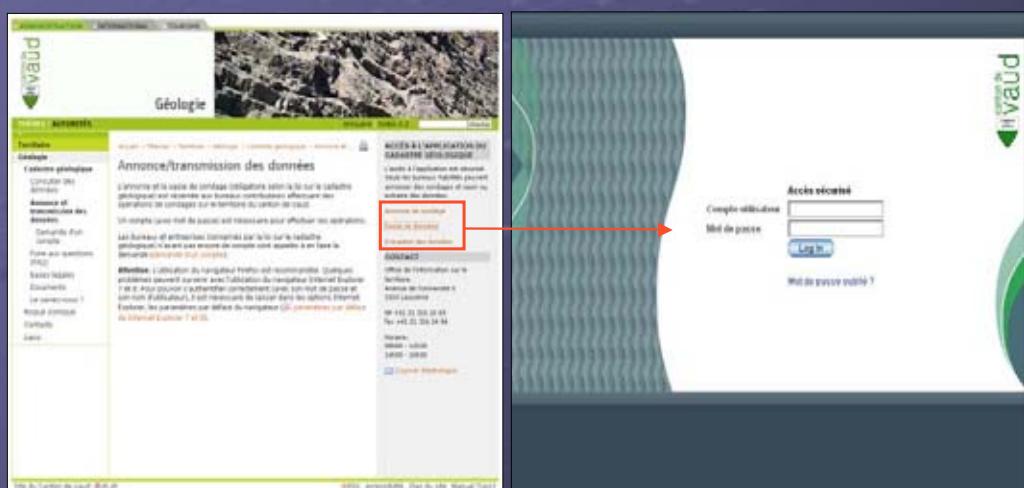
Documents originaux en PDF

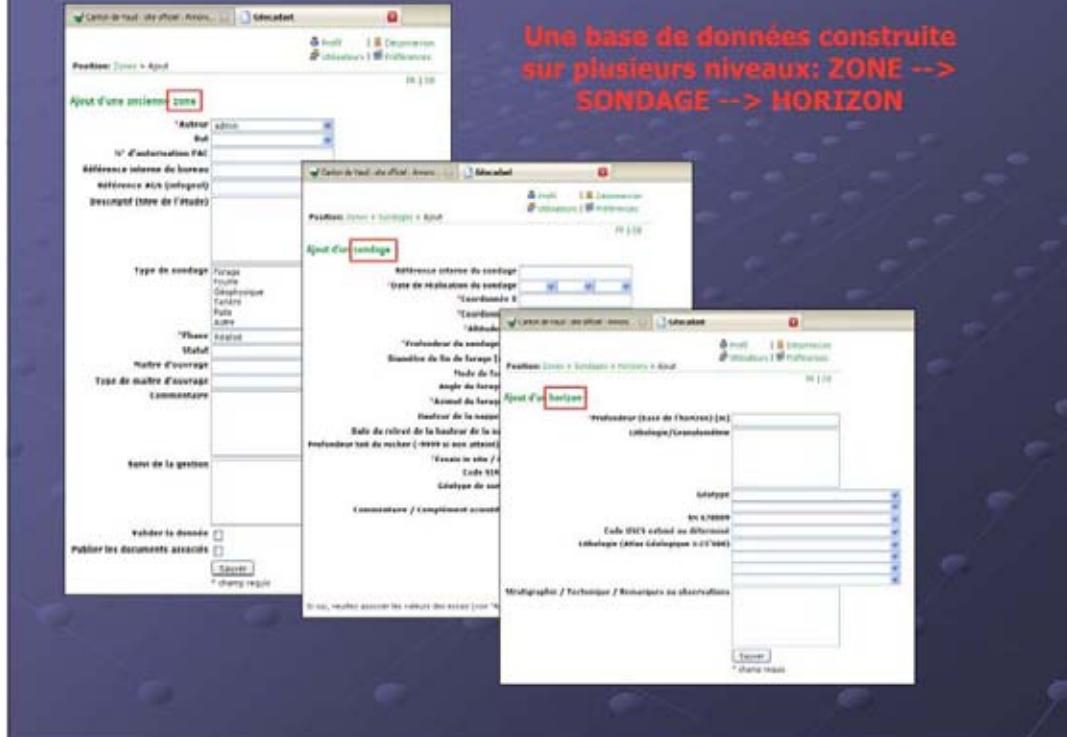


Accès tout public aux données via le guichet cartographique cantonal
(www.geoplanet.vd.ch)

Cadastre géologique – L'outil informatique

Un accès sécurisé pour accéder (saisie) au cadastre géologique





Cadastre géologique - Quelques caractéristiques de l'outil

- Interface cartographique simple et possibilités de recherche simple par date, coordonnées, profondeur, etc ...
- Fiches de sondage pouvant être "personnalisées" avec le logo du bureau qui renseigne l'application.
- Certains champs sont **obligatoires**, alors que d'autres sont **facultatifs**.

Cadastre géologique – Le contenu de la base de données

CSD Ingénieurs Conseils SA					
Fiche de sondage					
Zone de sondage					
N° de référence interne du bureau	N° de référence AGS / Infogeo	Auteur	Type de sondage	Description	Bal
		Ingo Etienne Georges	Torpe	Relève de pompe à eau (PAC)	Géothermique
Sondage					
Numéro de sondage	708	Bal. interne	11		
Coordonnée x [m]	548250.00	Date de réalisation	12/12/2005		
Coordonnée y [m]	189990.00	Profondeur [m]	140.00		
Altitude « m »	760.00	Diamètre [mm]			
Mode de forage	Destructif	Angle du forage [°]	90.0		
Code du géotype de surface	Moraine, de fond	Asymétrie du forage [°]	0.0		
Code NIA 261	E - Couche alluviale superficielle	Hauteur de la nappe [m]		←	
Date du relèvement de la hauteur de la nappe		Profondeur taït du rocher [m]	14.00	←	
Existe in situ / Labo	Non				
Horizons du sondage					
Profondeur [m]	Lithologie Géomatique	Géotype	Code USGS	EN 670000	Lithologie (Atlas Géologique 1:25'000)
2.00	Moraine	Moraines, de fond			M36 - Terrain meubles - Sédiments glaciaires - Moraine
14.00	Graviers fluvio-glac.	Répandise, fluvioglaciaire			M37 - Terrains meubles - Sédiments fluvio-glaciaires
140.00	Molasse bündigérienne	Rches déboulées, grès			S12 - Rches édimentaires - Sédiment d'âge moyen - grès (arenite, calcaire des sables) - à conc. quartzo-feldspathiques, à concr. argileuses
Remarques / Observations : 110-120m : venant d'eau					
Piézomètre du sondage					
Pas de piézomètre					
Documents associés					
fiche-sonde.pdf					

Cette fiche de sondage associe plusieurs disciplines géologiques sur un seul et même document.

La fiche de sondage

Informations hydrogéologiques

Profondeur du toit du rocher

Standardisation à choix des différents horizons

Cadastre géologique – Le contenu de la base de données



Merci de votre attention ...

Journée romande de la géothermie, le 28.09.2010

Projet APOGEE – Feuille Nyon

- Journée romande de la géothermie 2010 - mardi 28.09.2010
- Potentiel, recherche et développement de la géothermie, ainsi qu'état d'avancement des projets d'importance dans le canton de Vaud et en Suisse*

- Le cadastre géothermique 3D du canton de Vaud – projet APOGEE. Un futur outil d'aide à la décision pour les installations géothermiques de basse enthalpie.
- Projet CCES Geotherm pour optimiser géologie et énergétique des systèmes profonds
- Aurèle Parriaux, Thomas Jolimet, Julien Ziglani



•Laboratoire de géologie de l'ingénieur et de l'environnement de l'EPFL - GEOLEP



Projet APOGEE – Feuille Nyon

Projet APOGEE = Atlas du POtentiel GEothermique très basse Energie - VD

Phase pilote sur la Feuille 1261 – Nyon

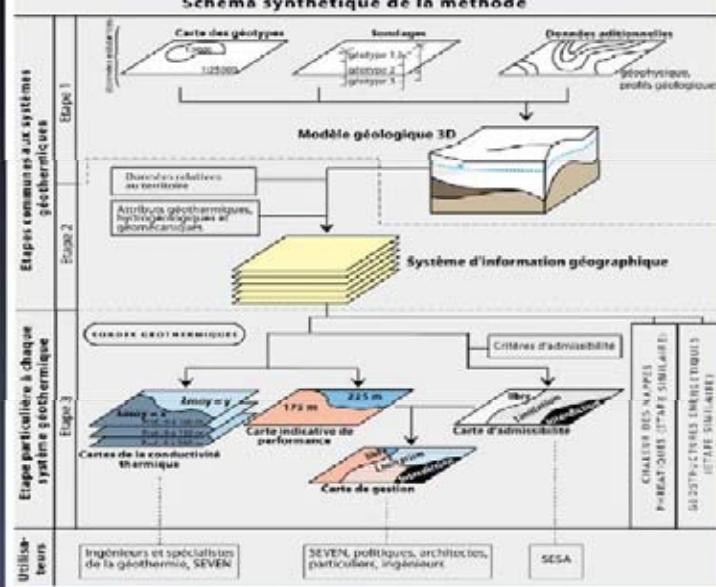
Problématique:

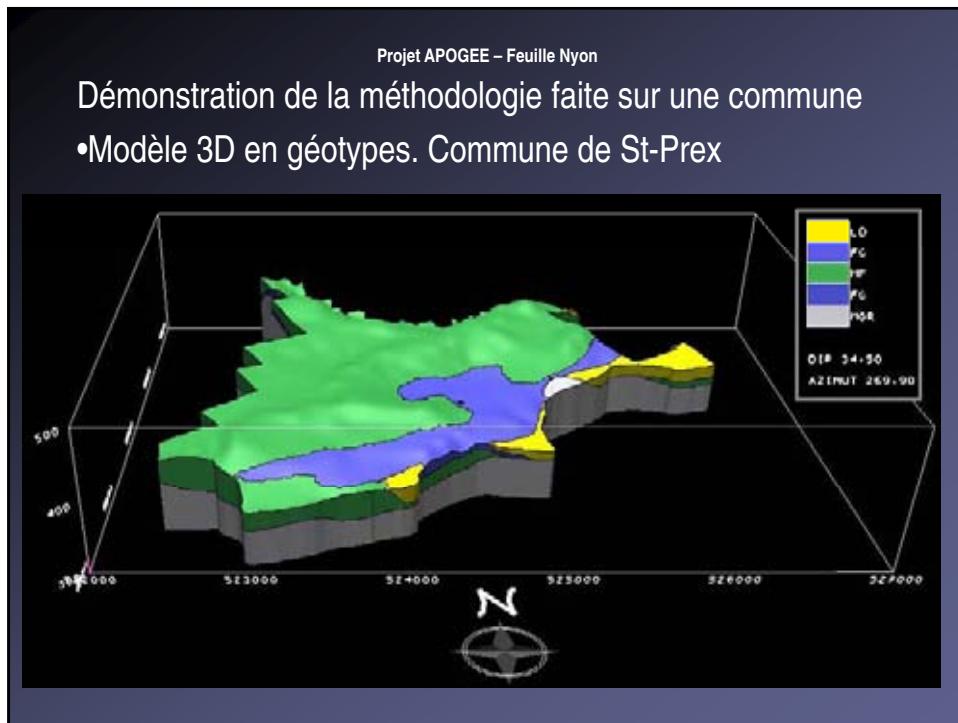
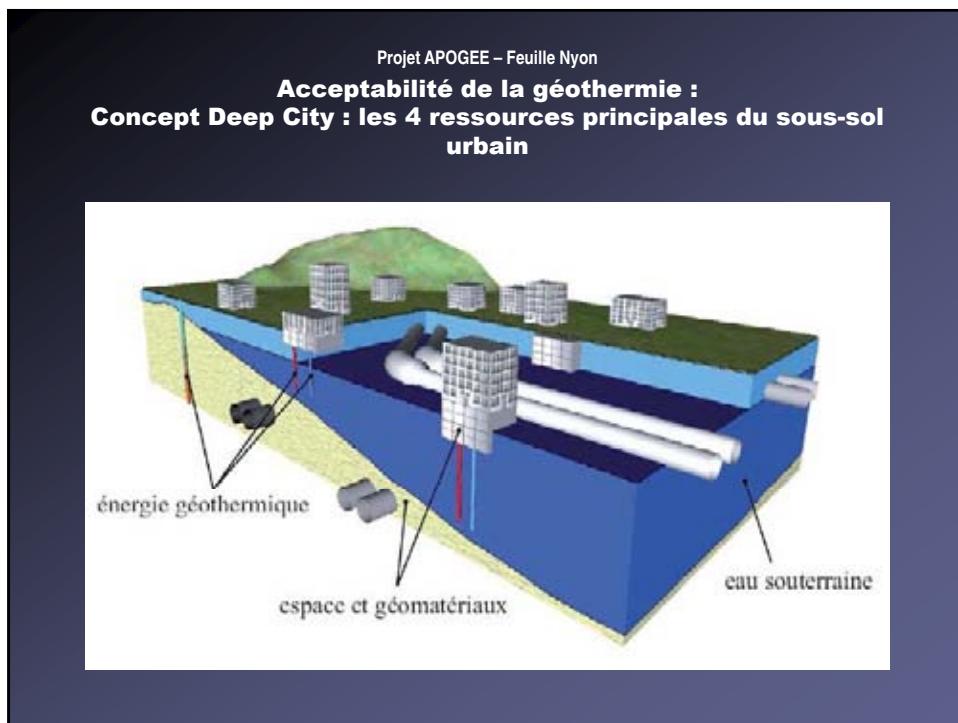
Comment déterminer des caractéristiques géothermiques en profondeur (environ 300m) et des règles d'admissibilité sur l'entier d'un territoire à partir de l'information géologique disponible?

Solution :

Par le développement d'un modèle géologique 3D et une table attributaire de paramètres selon les géotypes.

Schéma synthétique de la méthode





- Méthodologie applicable à une feuille au 1/25'000 entière ?
- Démonstration à faire sur la feuille Nyon :
 - Quaternaire complexe
 - Jura plissé
- => Test de robustesse de la méthodologie
- Test des outils (géomodelleur, SIG, temps de calcul)
- Test de faisabilité financière

I. Création du modèle : spatialiser l'information...

- I. 1 Les coupes géologiques
- I. 2 Une nouvelle image du toit de la Molasse
- I. 3 Cartes structurales simplifiées
- I. 4 Modèle Géologique

II. Application à la géothermie

I.1 Spatialiser l'information par... des coupes géologiques !

Information géologique disponible :

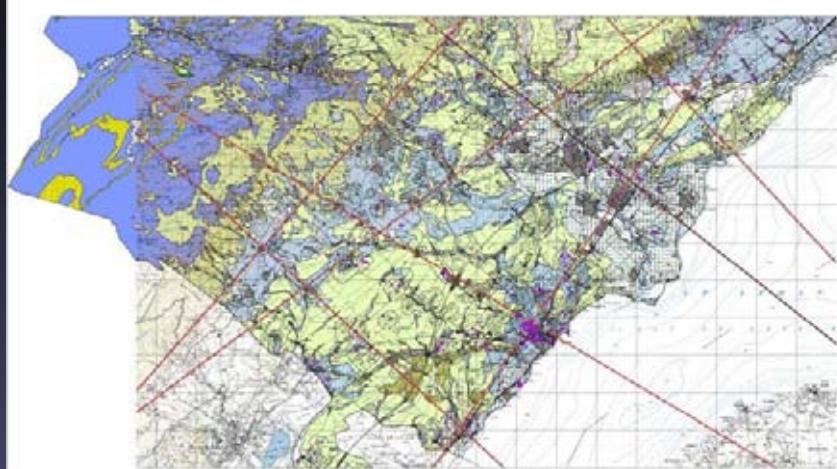
Cadastre géologique
Carte géologique 1:25000^e
Données de mandats
MNT
Toit du rocher – Fiore, 2007

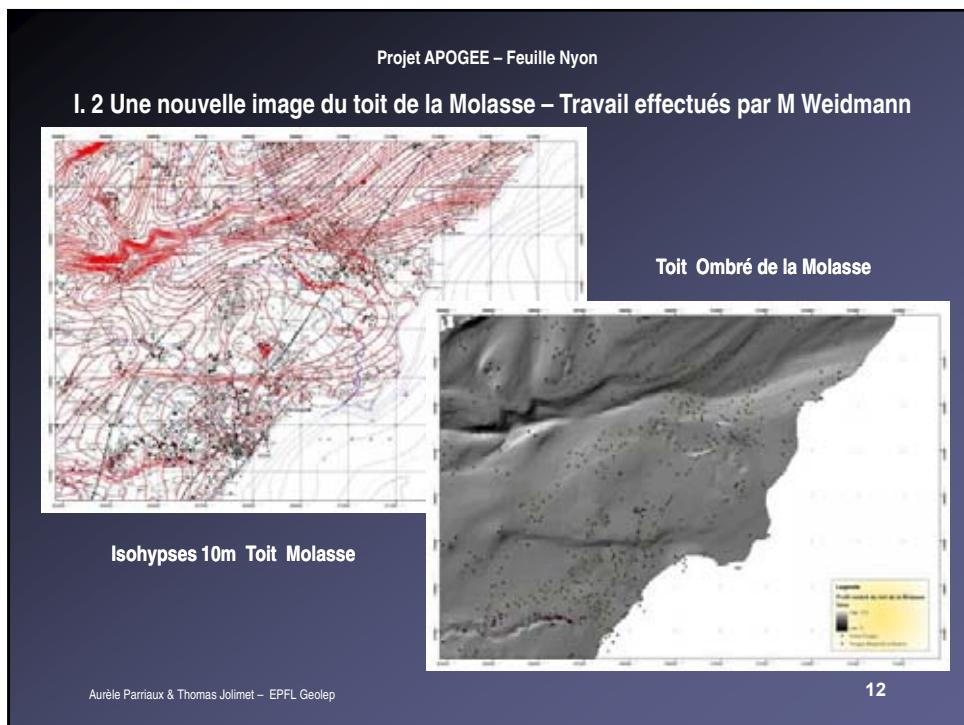
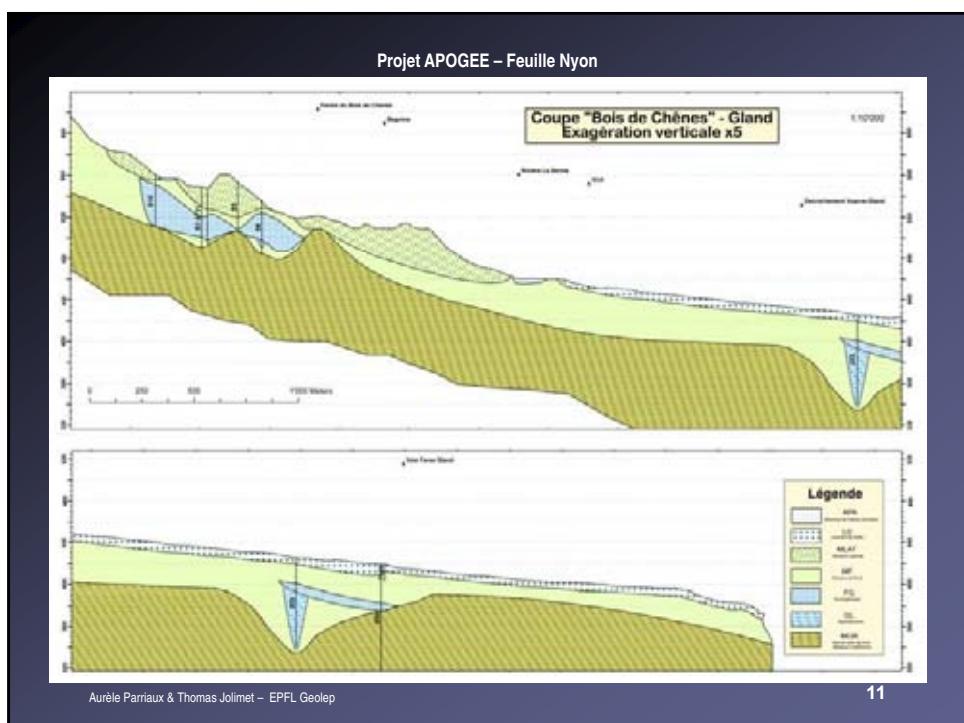
Géolocalisation des différents contacts géologiques (ex: Coupes ou informations de sondages)
Export des points (X, Y, Z) pour chaque géotype

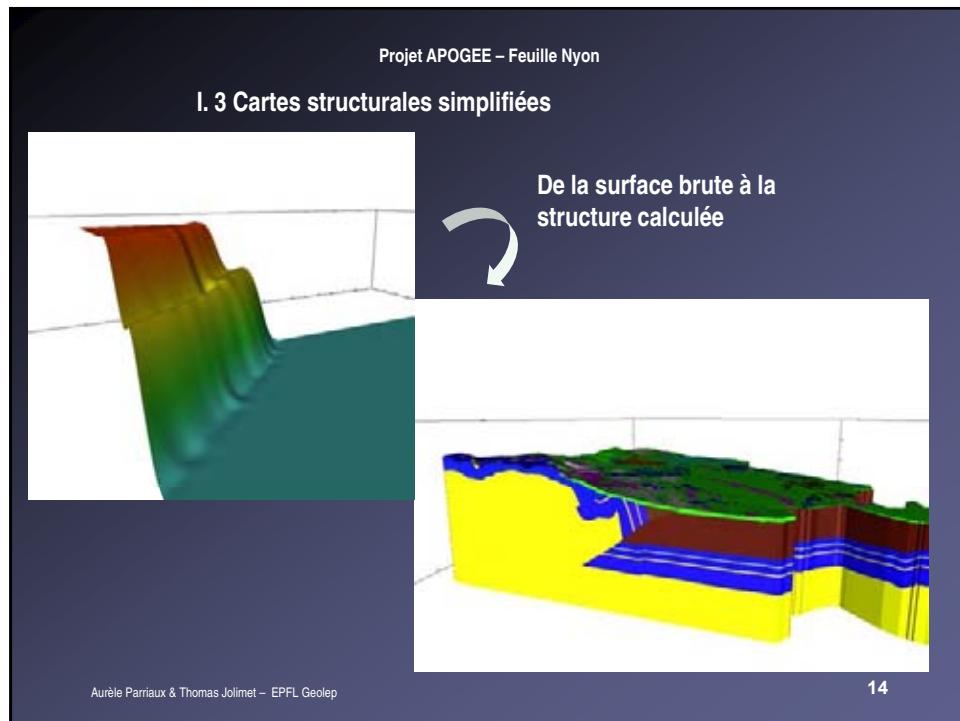
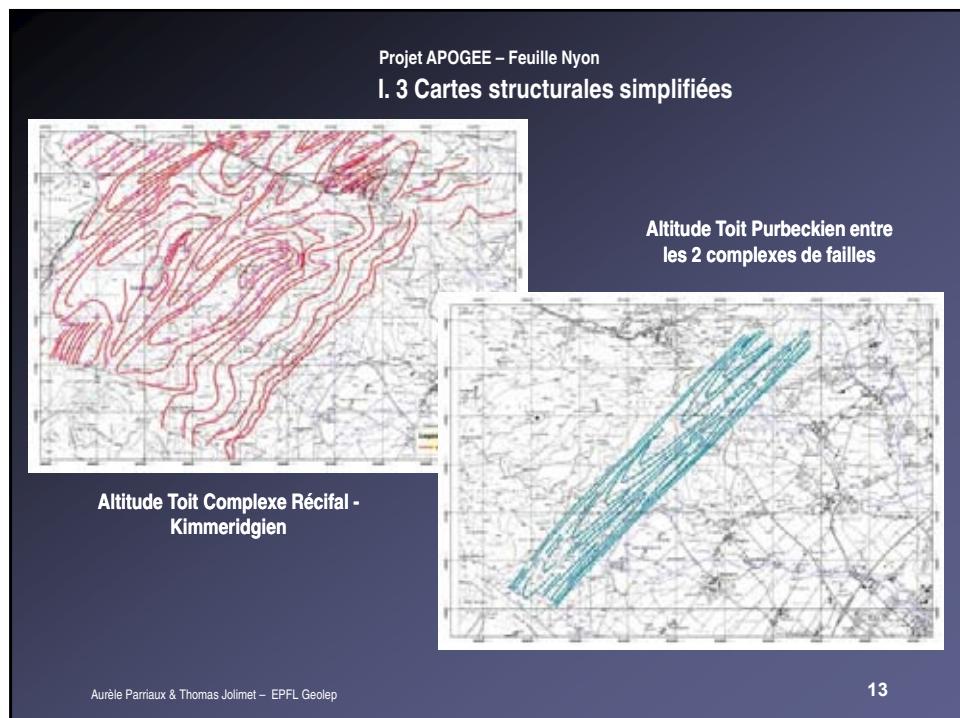
Modèle Géologique 3D:

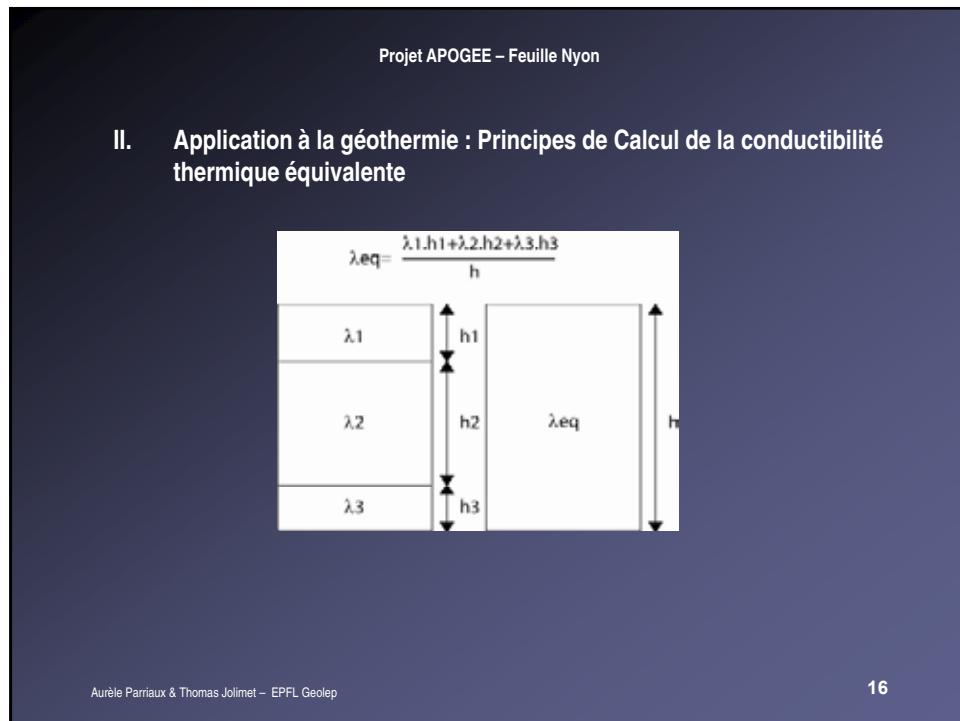
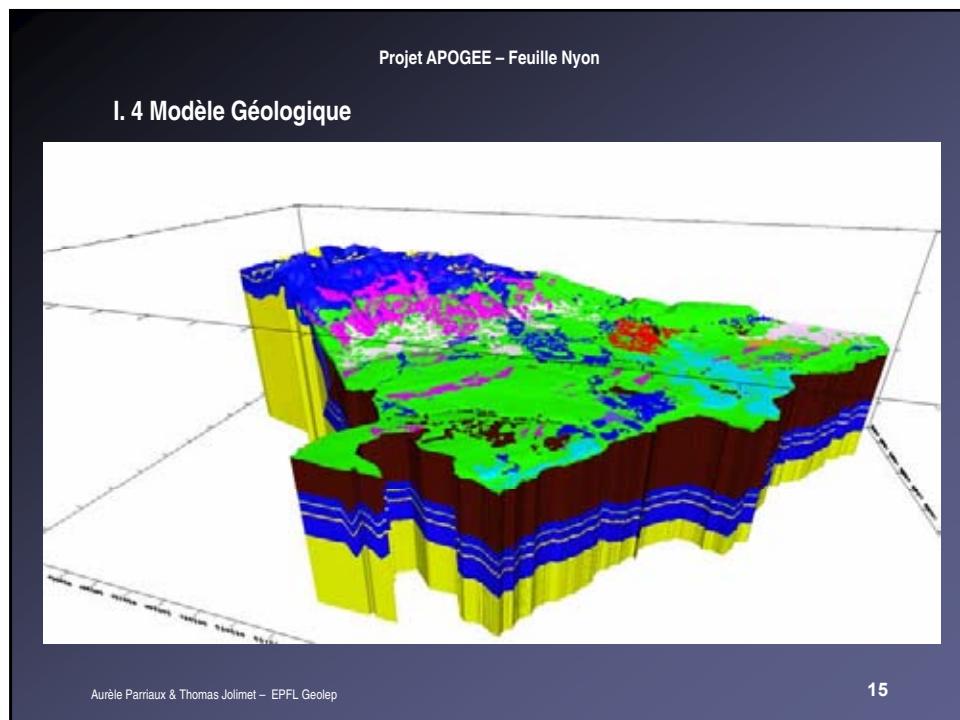
Projet APOGEE – Feuille Nyon

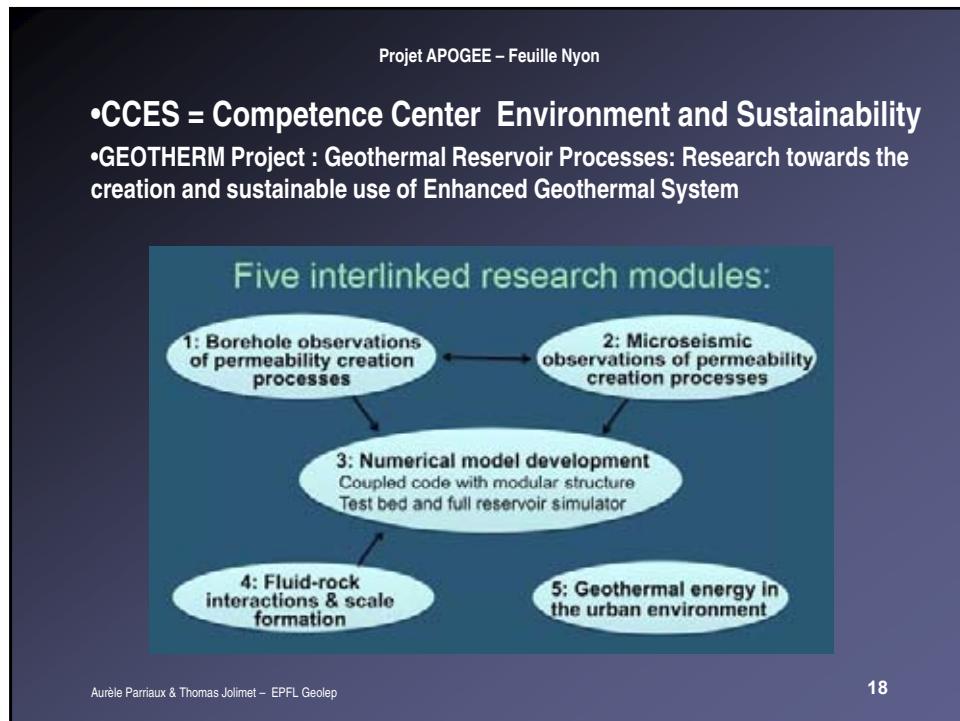
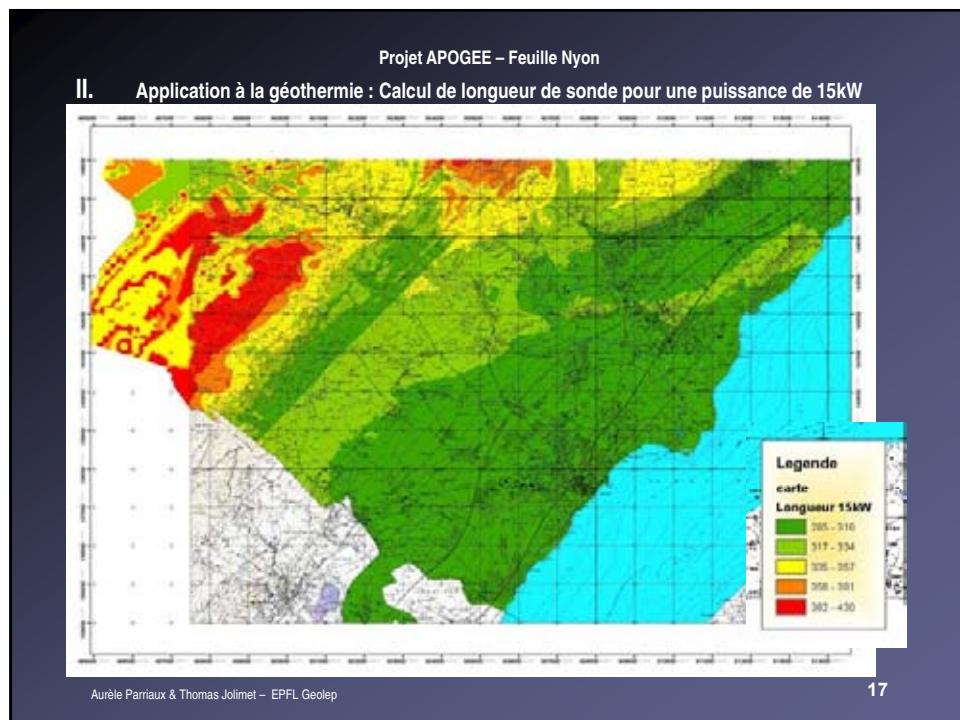
I.1 Spatialiser l'information par... des coupes géologiques !









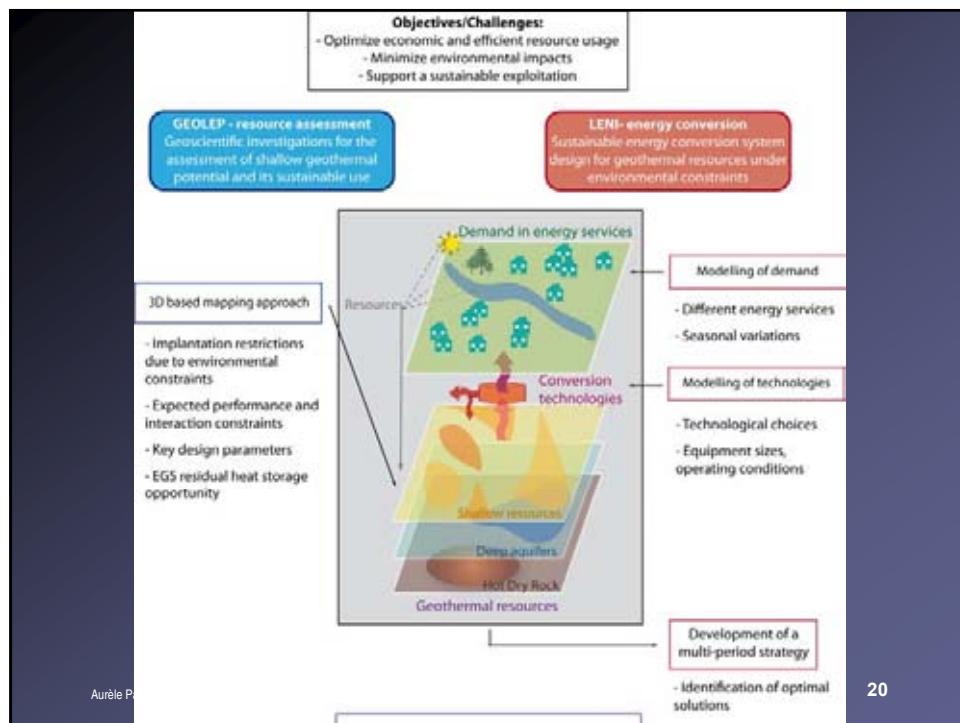


•But résumé :

•Etant donné une coupe géologique prévue au droit d'un projet, comment optimiser l'usage des différents volumes géologiques disponibles pour la production d'énergie géothermique et le stockage géologique de chaleur (la "PPE géologique" au service d'une optimisation énergétique).

•Nécessaire :

- Géométrie du corps géologique jusqu'à 5000m (pour EGS)
- Table de paramètres prévisibles par étage : température, conductivité thermique, conductivité hydraulique, géochimie des eaux ...



**Norme SIA 384/6 - janvier 2010**

- > **Domaine d'application**
- > **Terminologie**
- > **Etude du projet**
- > **Calcul et dimensionnement**
- > **Exigences posées aux matériaux de construction et à la construction**
- > **Exécution**
- > **Contrôle**
- > **Exploitation et entretien**
- > **Annexes importantes** – normatif / informatif !



Stéphane Cattin – Journée romande de la géothermie 28.09.2010 - heig-vd - Yverdon-les-Bains



Il n'y a pas de règle générale applicable pour le dimensionnement d'une et – à plus forte raison encore – d'un champ de sondes géothermiques

~~35 ... 40 ... 45 ... 50 W/m ?!~~

Le dimensionnement doit tenir compte :

- De la géologie locale → p.ex: Conductibilité thermique du sous-sol
- Du climat local → p.ex: Température, temps de fonctionnement
- Du mode d'exploitation → p.ex: Chauffage, eau sanitaire, piscine, chauffage + rafraîchissement
- De la géométrie des sondes → p.ex: diamètre 32 mm, 40 mm, 50 mm, profondeur, écartement

Stéphane Cattin – Journée romande de la géothermie 28.09.2010 - heig-vd - Yverdon-les-Bains

La norme SIA 384/6 – Sondes géothermiques

Par Jules Wilhelm, Ingénieur-conseil, Président de la Commission de norme SIA 384/6 concernant les sondes géothermiques, Responsable du module Assurance qualité / Normes géothermiques du programme SuisseEnergie et Ancien président de la Société Suisse pour la Géothermie.

Ingénieur-conseil, Pully

Les sondes géothermiques ont connu un développement fulgurant en Suisse au cours des 10 dernières années. Entre 2000 et 2010, la longueur totale de sondes réalisées annuellement a passé de l'ordre de 300'000 à plus de 2'000'000 de mètres, soit une augmentation moyenne de 170'000 mètres par an. Entre 2005 et 2010 l'accroissement a même atteint 200'000 mètres par an. La quantité d'énergie produite a suivi une progression similaire et représente aujourd'hui 75% de la production géothermique totale du pays.

La taille et la complexité des installations sont elles aussi en constante augmentation. La longueur courante d'un forage a triplée. Des champs de plusieurs dizaines de sondes alimentent des bâtiments ou des ensembles de bâtiments toujours plus vastes pour le chauffage, le refroidissement et la production d'eau chaude sanitaire. De plus en plus, la ressource géothermique s'associe à d'autres énergies nouvelles, comme le solaire ou la biomasse.

Devant cette évolution il est devenu impératif de codifier les règles de concept et de réalisation des sondes géothermiques et donner aux professionnels un outil de référence applicable aux conditions de notre pays. C'est cet objectif que vise la nouvelle norme SIA 384/6, qui sera présentée dans le cadre de cette conférence.

En 2002 déjà, lors du lancement du programme Energy Codes, la Société Suisse pour la Géothermie a proposé à la SIA de consacrer un volet à la réglementation technique des ouvrages géothermiques. Mais ce n'est que 5 ans plus tard que le travail a pu démarrer, en vue d'une première norme consacrée aux sondes géothermiques.

La norme SIA 384/6 Sondes géothermiques, publiée en décembre 2009, est entrée en vigueur le 1^{er} janvier 2010. Elle a été élaborée sous l'égide du module Assurance qualité de la SSG et a bénéficié du soutien financier de la Confédération par le biais du programme SuisseEnergie.

La norme concerne la planification, l'exécution et l'exploitation des sondes géothermiques (SG) utilisant le potentiel de chaleur du sous-sol à des fins de chauffage et de refroidissement des bâtiments, avec l'objectif de régler les exigences et les critères de qualité de l'ouvrage et les délimitations par rapport aux autres parties de l'ouvrage. Elle s'applique à l'ensemble des SG fermées et aux champs de SG jusqu'à une profondeur de 400 m. Le domaine d'utilisation comprend également l'accumulation souterraine de chaleur, l'exploitation avec ou sans pompe à chaleur, l'exploitation monoventile ou en combinaison avec d'autres sources d'énergie.

La norme ne traite pas les autres genres de valorisation de la géothermie de faible profondeur comme les géostructures énergétiques, les circuits enterrés et l'exploitation des nappes d'eau souterraines. Le dimensionnement de la pompe à chaleur et du réseau de distribution à l'intérieur des bâtiments n'y est pas non plus inclus. Les aspects administratifs et environnementaux n'y sont mentionnés que sous forme de rappel ou de référence aux textes cantonaux et fédéraux en vigueur.

Outre les prescriptions réglementaires relatives à la conception, l'exécution et l'exploitation, l'intérêt de la norme réside dans les nombreux tableaux, graphiques et exemples donnés en annexe, destinés à faciliter le travail des praticiens.



AGEPP – Lavey – Vaud

Le premier projet romand de géothermie profonde à l'aube du forage de reconnaissance

Dr. Pascal Vinard

Directeur SI-REN SA, Ville de Lausanne

Chef de projet AGEPP

+41-21-315 83 10

+41-79-444 82 62

pascal.vinard@si-ren.ch

Gabriele Bianchetti

Directeur ALPGEO Sàrl, Sierre

Responsable du module "Exploration géothermique"

+41-27-456 94 56

+41-79-639 06 23

bianchetti@alpgeo.ch

www.alpgeo.ch



Objectifs du projet pilote AGEPP

- Démonstration d'une production simultanée d'électricité et de chaleur à partir d'une ressource hydrothermale profonde et de biomasse (centrale de chauffe hydride géothermie / bois)
⇒ Objectifs : **40 l/s et 110° C**
- Utilisation de la géothermie pour chauffage à distance : communes de Lavey (VD) et de St. Maurice (VS) + établissement thermal de Lavey-les-Bains (VD)
- Mise en place d'un puits d'appoint/secours pour l'approvisionnement en eau thermale des Bains de Lavey
- Démonstration d'une valorisation en cascade de la chaleur électrique ⇒ chauffage à distance ⇒ serre tropicale et/ou pisciculture



Historique et naissance d'AGEPP

- 1831 : découverte de la source thermale
- 1836-1928 : puits de 28 m, 60 l/mn à 35-50°C
- 1928-1971 : reprise de l'exploitation par l'Etat de Vaud
- 1972 : puits P201 (200 m), 440 l/mn à 62°C
- 1978-1998 : centre thermal cantonal, 200'000 entrées par an
- 1997 : puits P600 (594 m), 1'340 l/mn à 67°C
- Dès 2000 : exploitation par Bains de Lavey SA, 550'000 entrées par an
- Approvisionnement des Bains : pompage simultané dans les puits P201 + P600, eau thermale fournie par CESLA SA (100% VD), 550'000 m³ par an
- Situation actuelle : P600 avec eau à 65°C et 1340 l/mn ; P201 avec 55°C et 560 l/mn
- Risques en hiver si panne du puits P600, baisse continue de la température du P201
- Nécessité d'un puits de secours d'environ 1'000 m (P1000, 30 l/s à 70°C)



⇒ *Vu les conditions géothermiques favorables, idée de faire un forage plus profond permettant d'alimenter un CAD et de produire de l'électricité : naissance du projet AGEPP (2005)*



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-3-

Indices de thermalisme à Lavey

Eaux thermales avec des températures de 55 à 65°C captées par des puits de 200 à 600 m

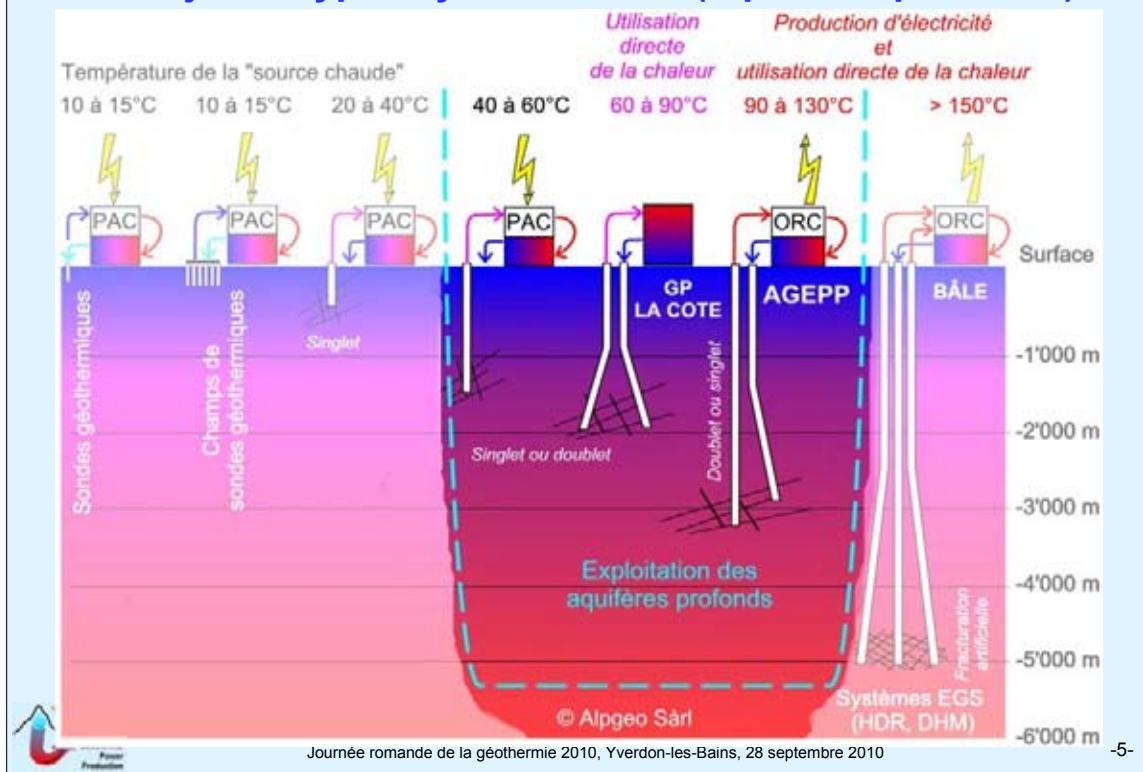
Plusieurs géothermomètres qui indiquent des températures du réservoir profond de l'ordre de 100 à 110°C



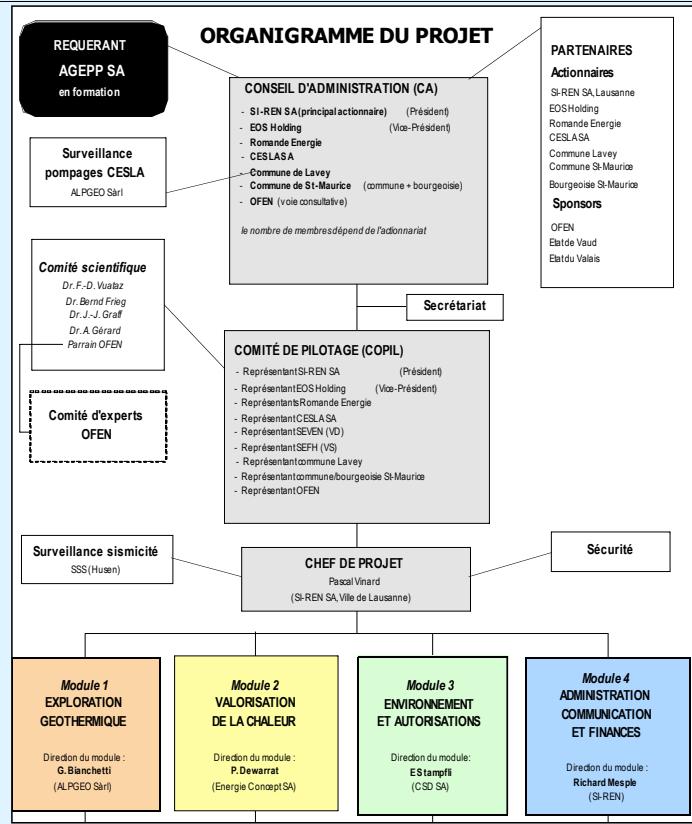
Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-4-

Projet de type "hydrothermal" (aquifères profonds)



Organisation et structure de la future société



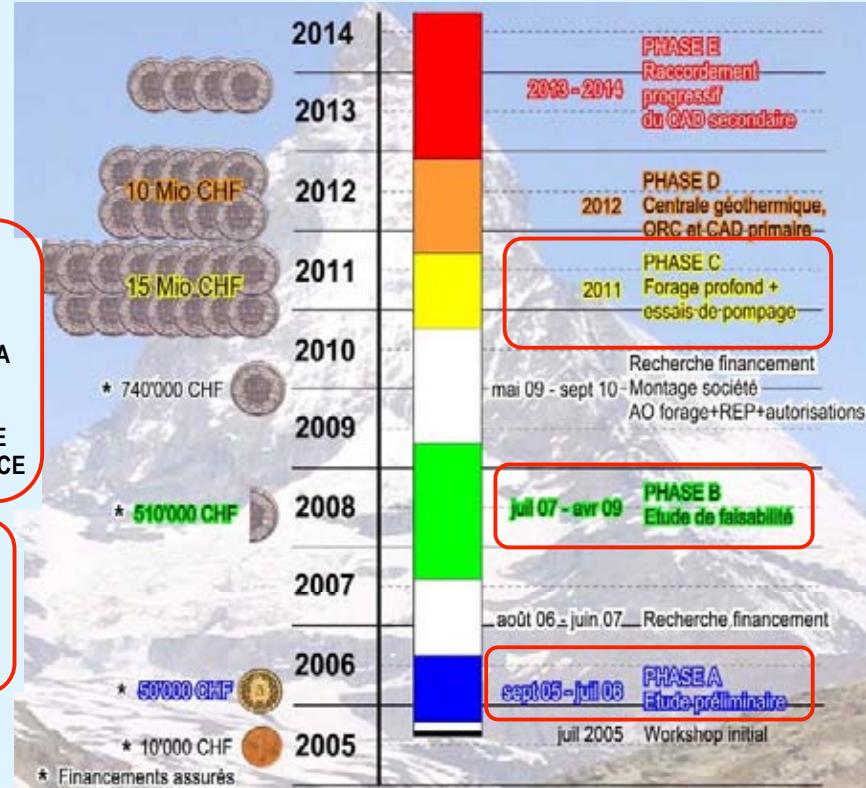
Étapes et budget

Partenaires phase C

- SI-REN SA (Lausanne)
- EOS Holding
- ROMANDE ENERGIE SA
- CESLA SA
- Commune LAVEY
- Commune ST-MAURICE
- Bourgeoisie ST-MAURICE

Sponsors phase C

- OFEN
- Etat de Vaud (SEVEN)
- Etat du Valais (SEFH)



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-7-

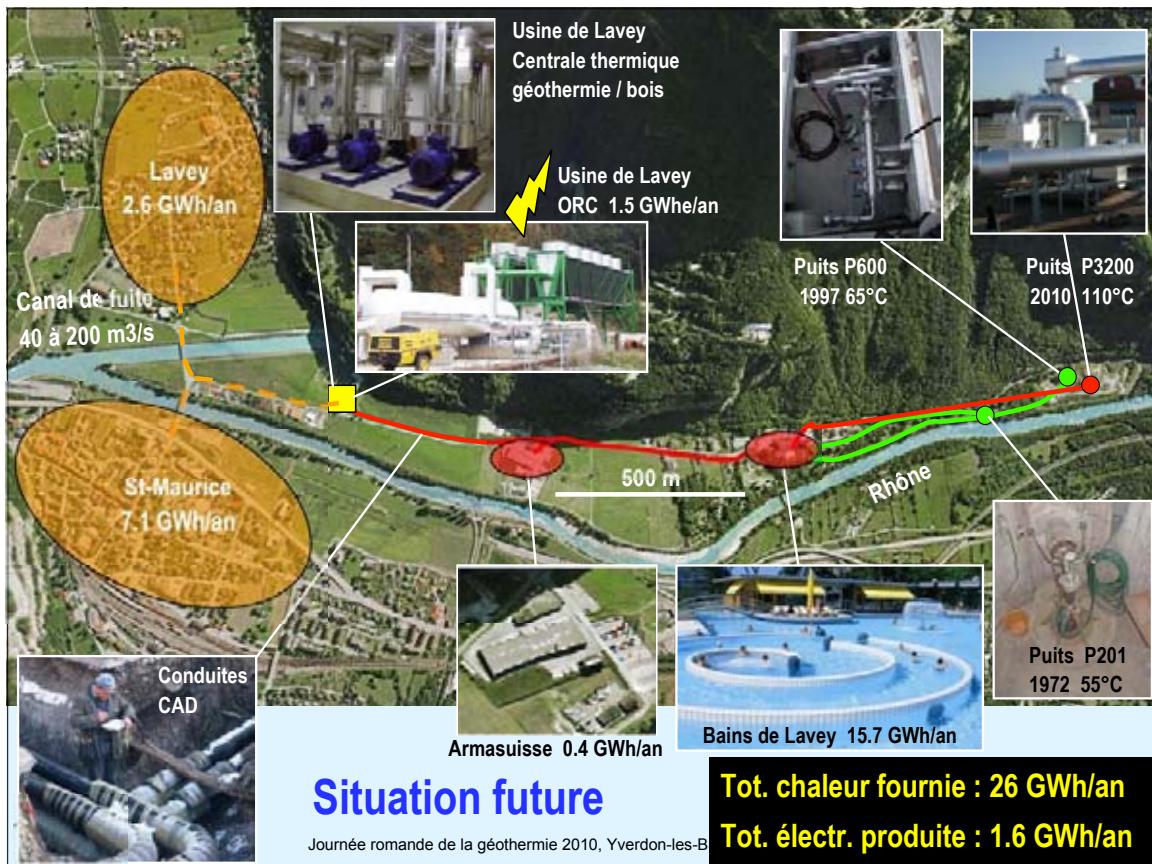


Situation actuelle

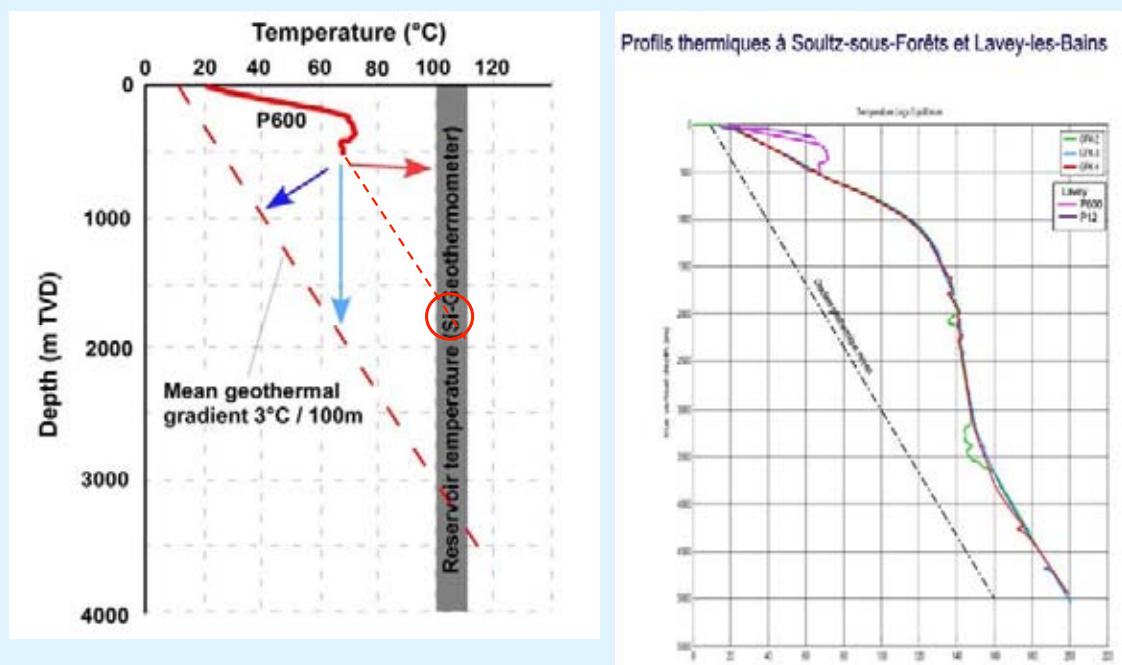


Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

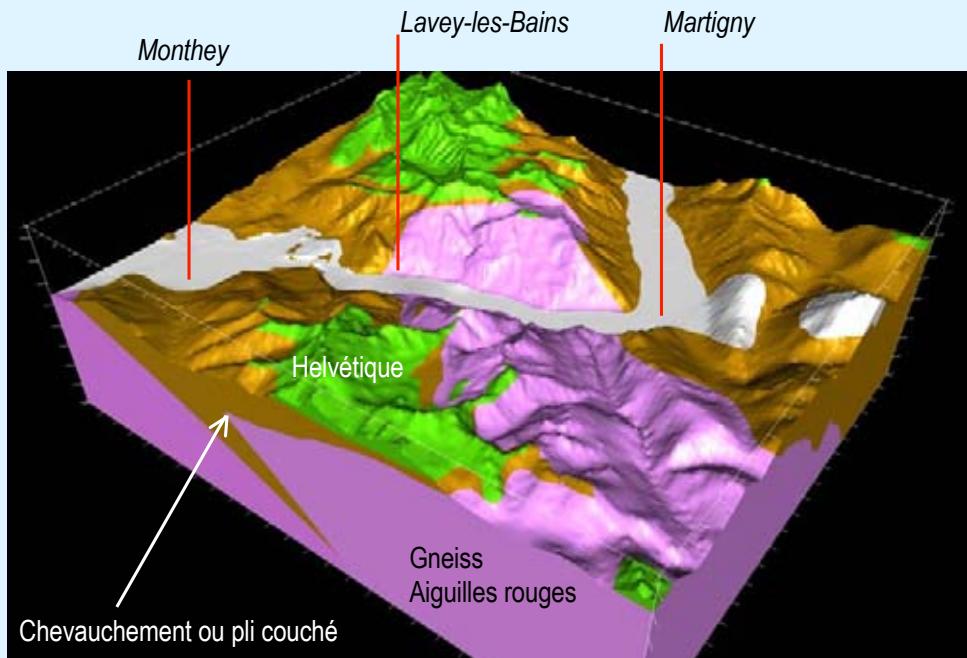
-8-



Gradient géothermique: faits et hypothèses



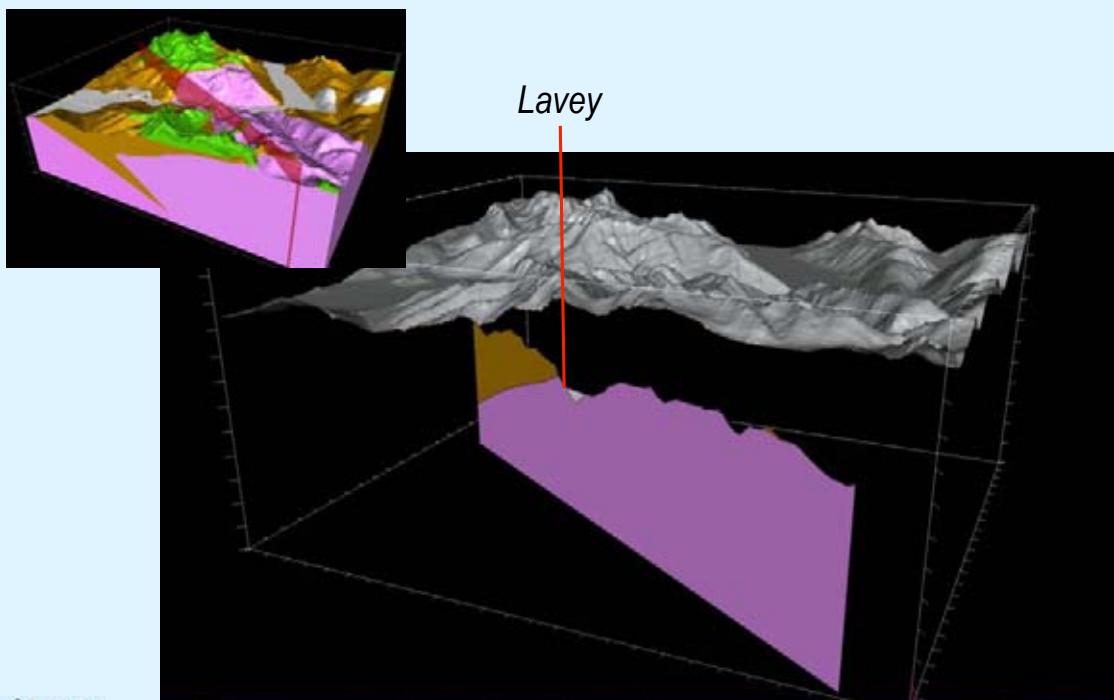
Structure géologique



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-11-

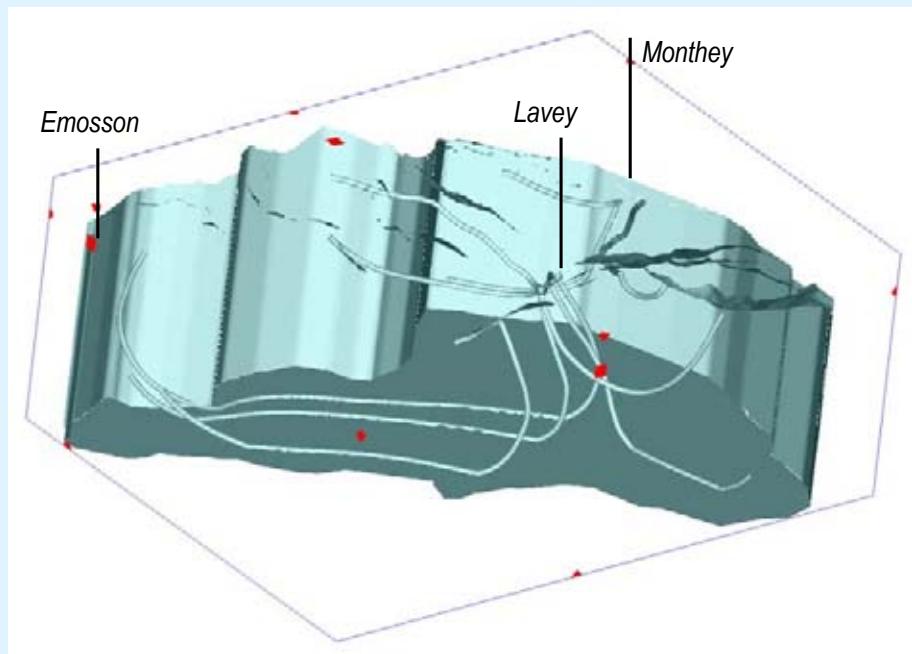
Coupe géologique



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-12-

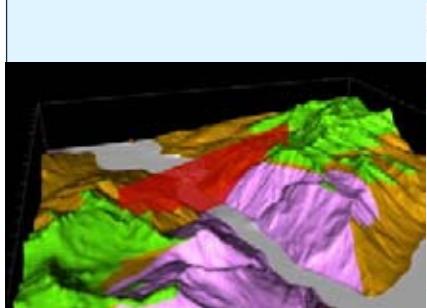
Lignes de courant (modèle numérique)



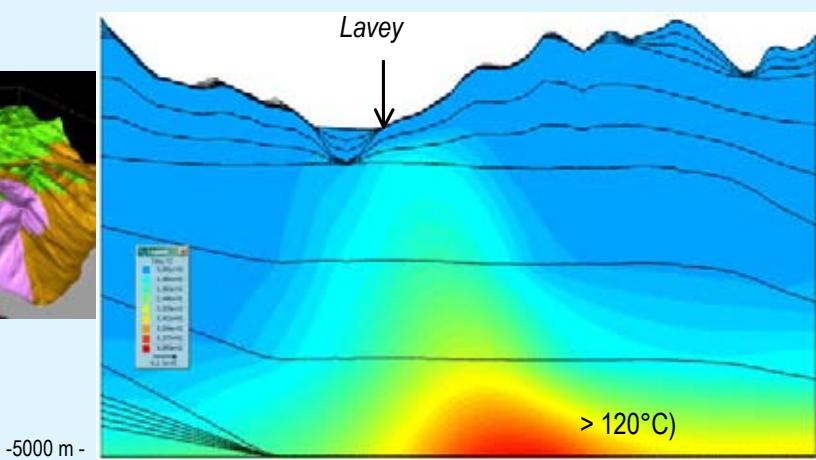
Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-13-

Températures calculées



Situation de la coupe



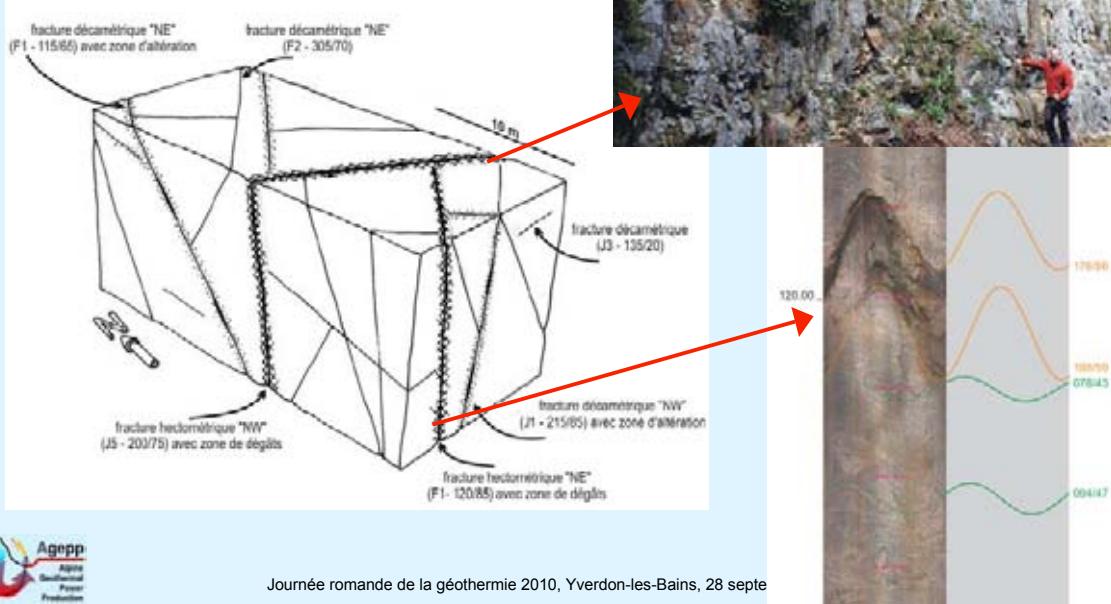
Variante à perméabilité hétérogène et isotrope (sans discontinuités discrétisées)



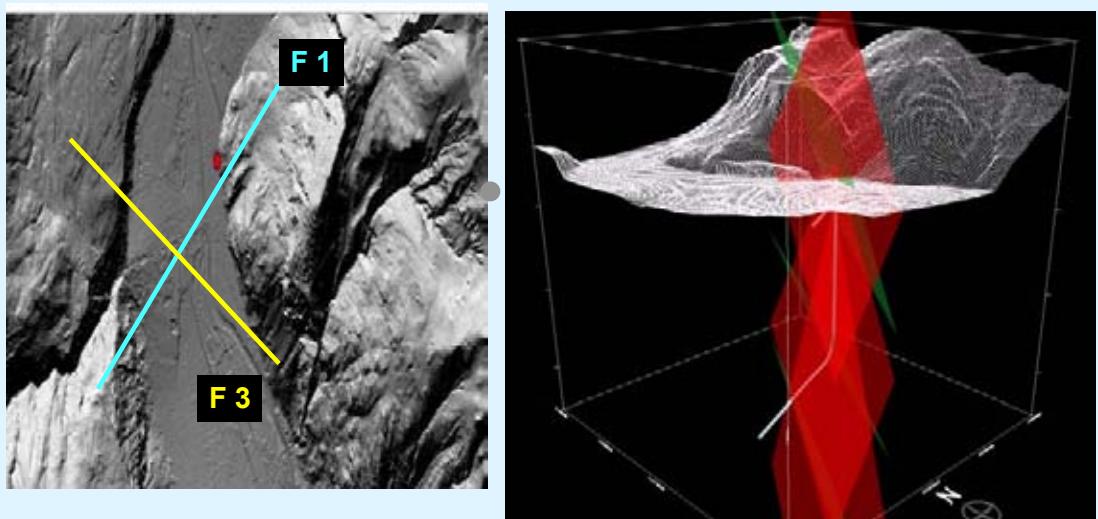
Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-14-

Discontinuités d'extension hectométrique



Principales familles de discontinuités



Résultats provisoires

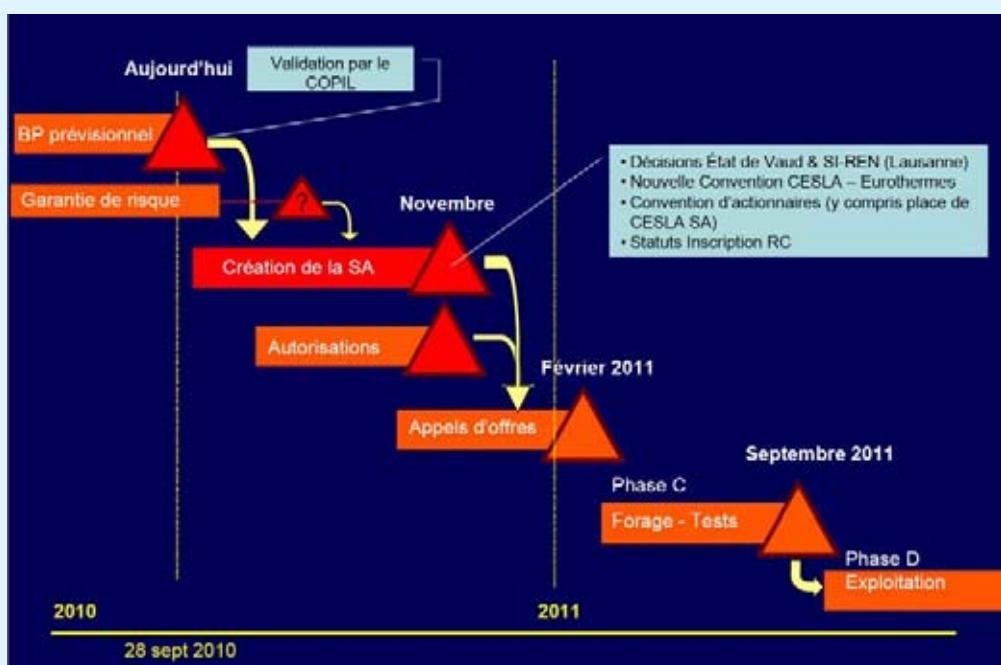
Le modélisation hydrodynamique-thermique montre que :

1. La zone d'exfiltration préférentielle de l'aquifère thermal profond se situe bien en rive droite du Rhône à Lavey;
2. Il faut une bonne interconnexion hydraulique entre les discontinuités observées en surface et dans les forages de Lavey-les-Bains pour expliquer les températures très élevées mesurées actuellement jusqu'à environ 500 m de profondeur (forage P600).

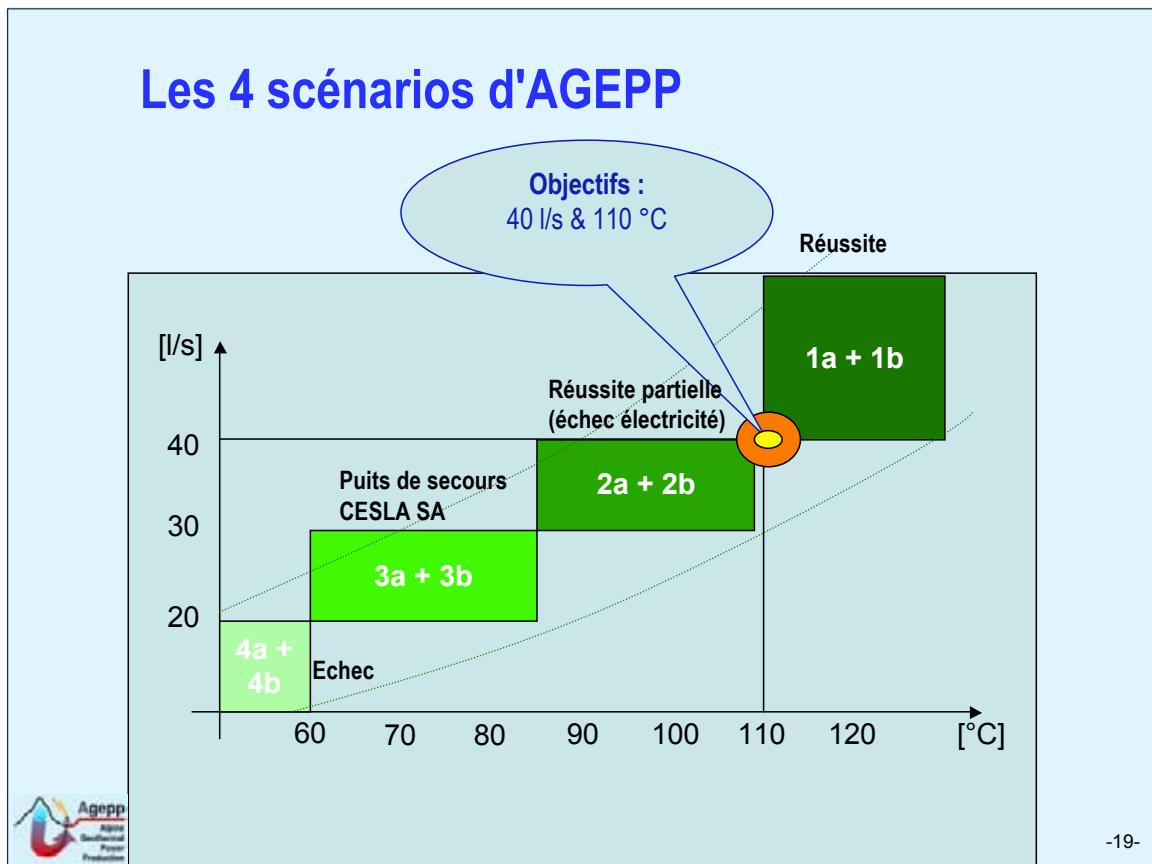
⇒ Les prochaines simulations vont tester un réseau de fissures à l'échelle régionale et locale



Principales étapes et jalons jusqu'au forage



Les 4 scénarios d'AGEPP



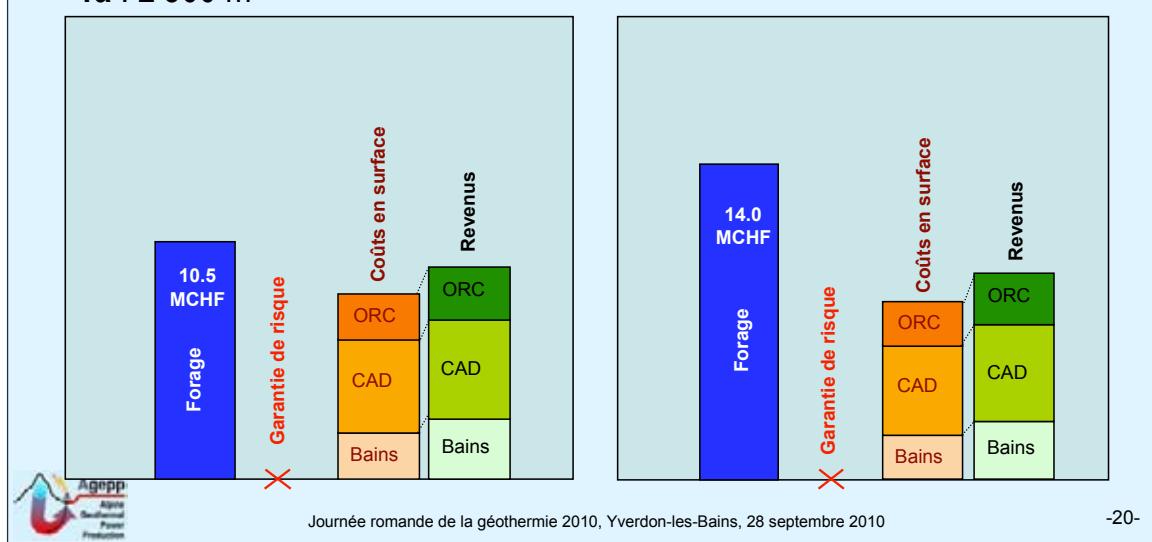
Scénarios 1a et 1b

Réussite

$\geq 40 \text{ l/s}$ et $\geq 110^\circ \text{C}$

1a : 2'300 m

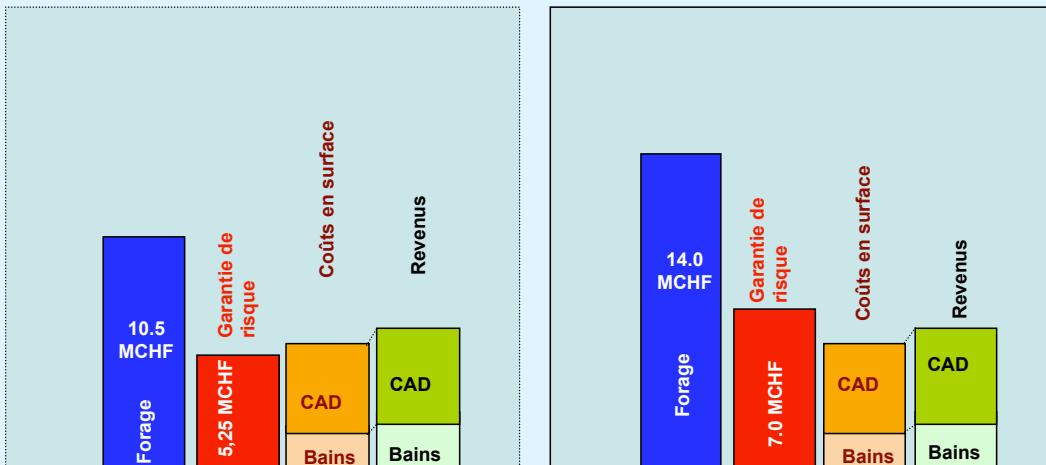
1b : 3'000 m



Scénarios 2a et 2b
Garantie du risque Swissgrid
30-40 l/s et 85-110° C

2a : 2'300 m

2b : 3'200 m



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-21-

Valorisation de la chaleur résiduelle



© Extechna

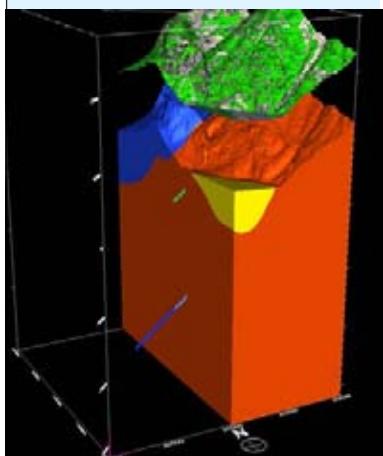
Mise en place d'une serre tropicale
et d'une pisciculture comme à Frutigen



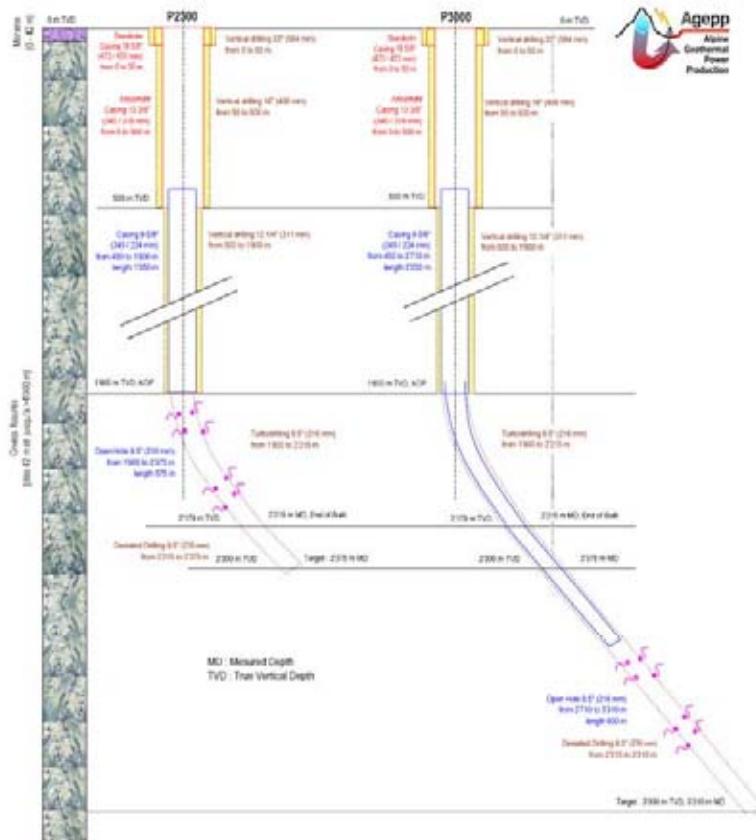
Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-22-

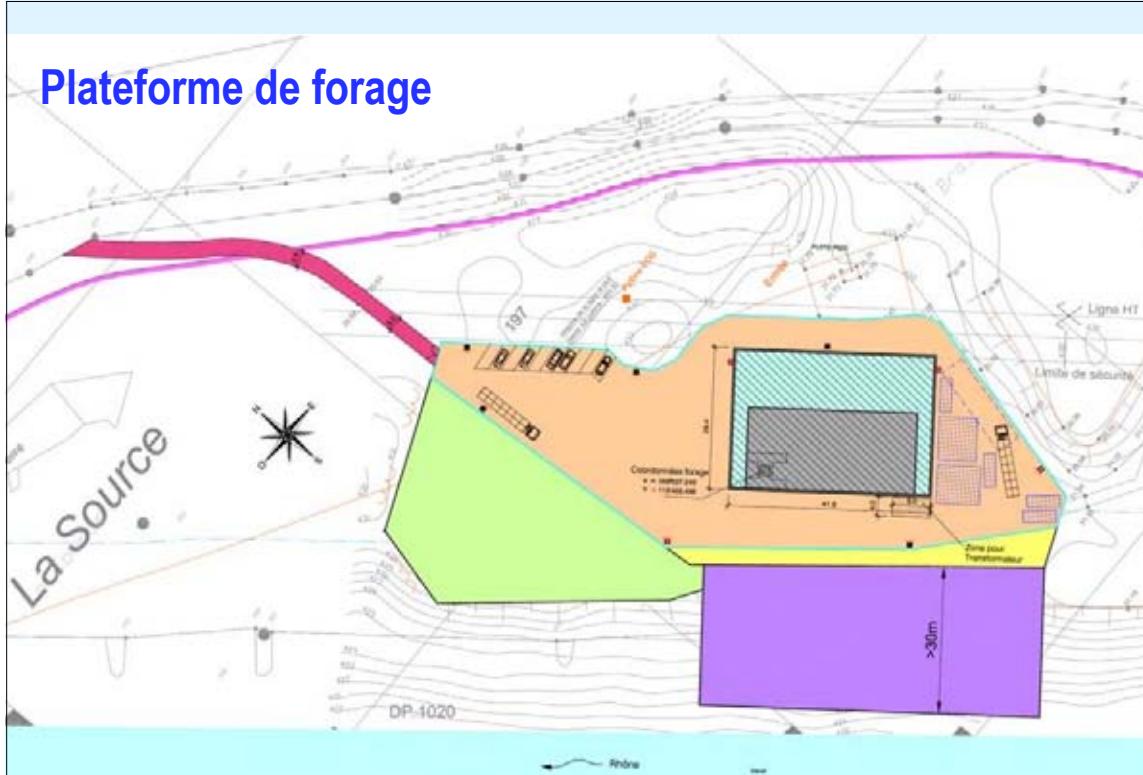
Implantation du forage, design et stratégie



Journée rc

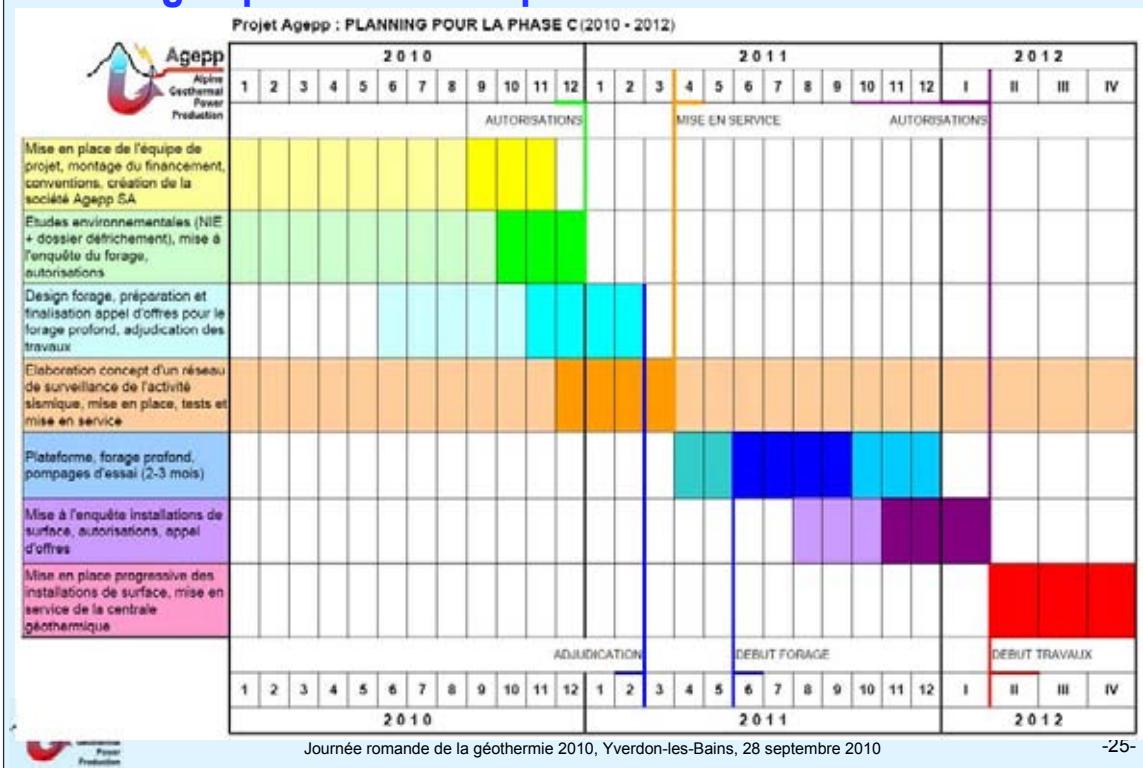


Plateforme de forage



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

Planning et prochaines étapes



AGEPP - Lavey en chiffres



Lavey, juin 2011
Futur forage profond P 3200

Forage long de 2'375 m (profondeur : 2'300 m), si nécessaire approfondi jusqu'à 3'310 m (3'000 m)

Investissement : ~22 à 26 Mio CHF (y.c. CAD primaire)

Puissance géothermale : 10'000 kW

Puissance électrique nette : 250 kW

Puissance chauffage à distance : 7'000 kW

Énergie électrique produite : 1.6 GWh/an

Énergie de chauffage fournie : 26 GWh/an

Électricité pour 400 foyers

Chauffage pour 1'200 foyers

Potentiel de réduction CO₂ : 6'500 t/an

AGEPP – Messages principaux

- **Pragmatisme** : mieux vaut rester simple et réaliste que trop ambitieux et cher!
- **Garantie du risque de forage géothermiques**: importante et urgente!
- Bonne équipe de projet = **spécialistes éprouvés & bonne «chimie»**
- Nécessité de pouvoir se baser sur un **réseau d'experts compétents et engagés**
- Nécessité d'un **partenariat fort** et prêt à assumer un certain nombre de risques calculés
- Nécessité d'un **soutien local actif**
- Nécessité de **partager l'expérience** entre les divers projets (en amont et en aval) = pooling des compétences au service des différents projets (par exemple: communauté d'intérêt de projets (inter-)communaux
- Nécessité de **renforcer la recherche fondamentale et appliquée** dans les domaines-clé de la géothermie profonde
- La géothermie profonde à un potentiel élevé, MAIS il nous faut un **succès**
- Les **conditions hydrogéologiques** sont déterminantes
- Quoi qu'il en soit, **la Nature aura le dernière mot!**



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-27-

Merci de
votre
attention!

Nous nous tenons à votre disposition pour toute question, renseignement ou conseil



Lavey, juin 2011
Futur forage profond P3200



Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon-les-Bains, 28 septembre 2010

-28-



Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel et transfert de technologie pour les projets de géothermie profonde

Dr. Francois-D. Vuataz

Laboratoire suisse de géothermie - CREGE

Yverdon-les-Bains, le 28 septembre 2010



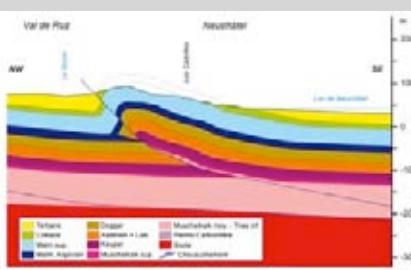
Thèmes abordés

Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel - PDGN

- Description
 - Principaux résultats des différentes applications de la géothermie

Programme GeoNE

- Description et actions en cours
 - Transfert de technologie vers les bureaux privés
 - Formation continue en géothermie profonde



Etude du potentiel géothermique cantonal en Suisse Romande

But

Donner aux autorités cantonales des bases et des recommandations pour engager des projets géothermiques sur une ressource connue, et/ou d'engager la prospection de ressources encore peu connues.

Méthodes

- Compilation et intégration de toutes les données existantes du sous-sol.
- Evaluation du potentiel et/ou du nombre d'installations possible.
- Estimation du potentiel de consommation de chaleur.

Etudes réalisées et en cours

Valais (1988-1996), Vaud (2003), Fribourg (2005), Neuchâtel (2008 et 2010), Genève (2010).

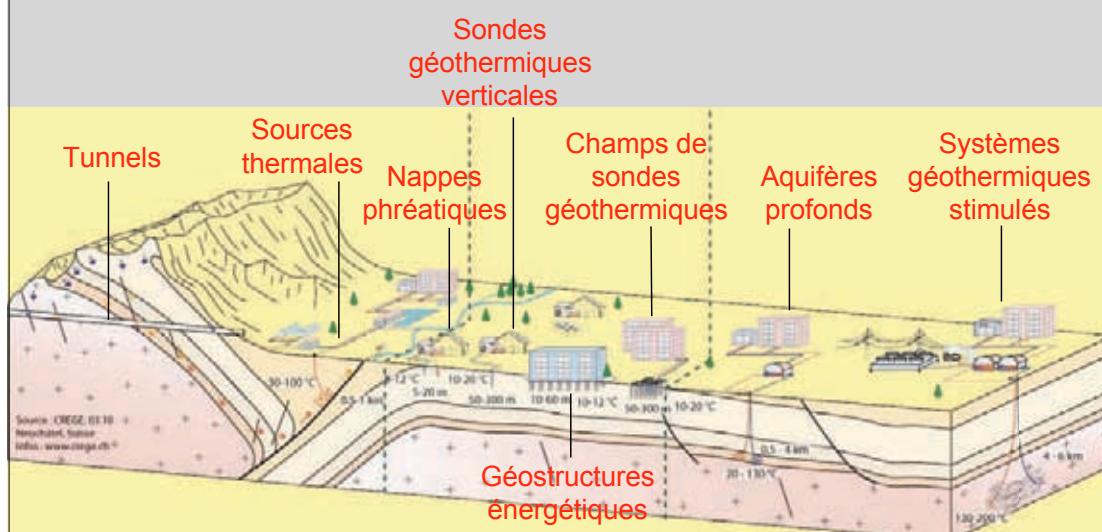
Réalisation

Equipe de projet formés de spécialistes des différents domaines de la géothermie (Instituts de recherche, bureaux d'ingénieurs, services cantonaux).

Financement

Variable selon les projets: cantons, Confédération, entreprises publiques, fonds privés.

Type de ressources et d'applications géothermiques en Suisse



Programme cantonal de développement de la géothermie à Neuchâtel du canton de Neuchâtel - PDGN (2009-2010)

Buts

- Appliquer les recommandations du projet PGN (2008) dans une vision à long terme.
- Quantifier le potentiel géothermique cantonal pour 5 types de ressources différents: SGV, GEN, NAP, EDS, APR.

Méthodes

- Calcul du potentiel théorique et du nombre d'installations par type de ressource.
- Formulation des conditions d'exploitation (procédures, réglementation, etc.)
- Organisation de 6 séminaires pour les professionnels et préparation de 2 guides simples de dimensionnement pour de petites installations (SGV, NAP).

Réalisation

Equipe de projet (membres du réseau SGnet):

- Laboratoire suisse de géothermie - CREGE: F.-D. Vuataz et P. Altwegg.
- Bureau B. Matthey Ing. Cons., Montézillon: M. Affolter et B. Matthey.
- J. Wilhelm Ing. Cons., Pully.
- Service de l'énergie et de l'environnement, SENE, Neuchâtel.
- Autres services cantonaux: Ponts et chaussées, Faune-Forêt-Nature, Géomatique.

Financement

SENE, Canton de Neuchâtel.

Laboratoire suisse
de géothermie



- 5 -

Université
de Neuchâtel



Sondes géothermiques verticales (SGV)

- Potentiel dépendant fortement du mode d'exploitation: avec ou sans recharge thermique saisonnière du sous-sol.
- Exploitation sans recharge thermique: potentiel de 308 GWh_{th}/an (= production de 410 GWh_{th}/an avec PAC standard)
--> 20 % des besoins en énergie de chauffage. Refroidissement à long terme de 1 °C.
- Exploitations performantes avec recharge thermique: potentiel de 16'270 GWh_{th}/an sur l'ensemble des zones constructibles --> >100 % des besoins en chaleur. Pas de refroidissement à long terme.
- Avec les limitations liées à l'aménagement du territoire et à la protection des eaux souterraines (zones interdites ou profondeur limitée): secteurs autorisés: 909 GWh_{th}/an --> 43% des besoins cantonaux.
- Potentiel élevé pour les SGV: favoriser la recharge thermique et les grandes installations (champs de SGV).



Ecole de la
Maladière:
champ de SGV

Laboratoire suisse
de géothermie



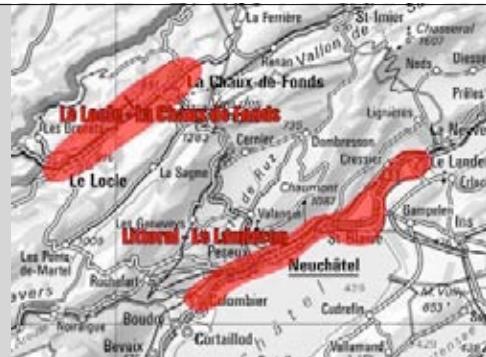
- 6 -

Université
de Neuchâtel



Géostructures énergétiques (GEN)

- L'étude PGN (2008) avait déjà quantifié le potentiel des GEN: potentiel théorique de 180 GWh_{th}/an.
- Evaluation de deux grands projets:
 1. Pieux énergétiques pour le projet Le Corbusier à La Chaux-de-Fonds: surface de 49'000 m² pour 18 bâtiments divers avec des besoins de 2'220 MWh_{th}/an. Potentiel des pieux énergétiques = 750 MWh_{th}/an
 2. Tunnel de la liaison ferroviaire TransRUN entre La Chaux-de-Fonds et Neuchâtel: intérêt pour la valorisation thermique par des échangeurs de chaleur (géostructures) intégrés dans les gares souterraines.



Zones potentielles pour les GEN



Site du projet Le Corbusier

L'association suisse
des géothématiques

crege

- 7 -

Université
de Neuchâtel

unine

Nappes phréatiques (NAP)

- Potentiel localisé sur 14 km² (< 2 % de la surface du canton): 27 communes concernées.
- Potentiel de chaleur sans recharge thermique estivale: 33 GWh_{th}/an.
- Potentiel de froid en freecooling: 26 GWh_{frig}/an.
- Nappes phréatiques principales: delta de l'Areuse et Val-de-Travers;
- Autres nappes de petite extension: littoral, Cornaux, Cressier, Le Landeron, La Chaux-de-Fonds.
- Rendement élevé: PAC avec COP de 5.
- Actuellement sous-exploité: 28 installations et 4.4 MWh_{th}/an fournis.
- Etude hydrogéologique nécessaire dans chaque cas.



Dépôt des TRN à Fleurier, Val de Travers: chauffage par NAP

L'association suisse
des géothématiques

crege

- 8 -

Université
de Neuchâtel

unine

Eaux de surface: cours d'eau, sources, lac, STEP (EDS)

- Bonne qualité des eaux de surface pour une exploitation thermique.
- Potentiel
 1. Cours d'eau et effluents des STEP (minimum en fonction des débits d'étiage): 78 GWh_{th}/an.
 2. Lac de Neuchâtel: 1'357 GWh_{th}/an
 - > 60% de la demande d'énergie de chauffage du canton.
 - > 100% de la demande d'énergie de chauffage située à moins de 300 m de la rive du lac.



Source de La Serrière,
Neuchâtel

L'association suisse
de géothermie

crege

- 9 -

Université
de Neuchâtel

unine

Aquifères profonds (APR)

- Pas de manifestations de surface de type sources thermales, ni de forages profonds permettant un accès aux APR.
- 3 formations géologiques carbonatées peuvent contenir des APR: Malm, Dogger et Muschelkalk.
- Gradient géothermique moyen considéré normal ($30 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C/km}$) au pied du Jura et plus faible ($25 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C/km}$) dans les chaînes du Jura (karst).
- Calcul du potentiel théorique de chaque aquifère à l'échelle du canton.
- Présélection de zones pour l'implantation de forages profonds sur 10 communes.
- Potentiel total théorique des APR: 5'380 GWh_{th}/an



Aquifère	Malm	Dogger	Muschelkalk
Temp. moyenne ($^{\circ}\text{C}$)	24	35	51
P par doublet (MW _{th})	0.8 - 1.1	0.6 - 0.9	1.3 - 1.9
P totale (MW _{th})	595 - 795	260 - 390	255 - 384

L'association suisse
de géothermie

crege

- 10 -

Université
de Neuchâtel

unine

Projet GeoNE : Développement de la géothermie des aquifères profonds dans le canton de Neuchâtel

- **Décision du Conseil d'Etat neuchâtelois en 2008:** Soutien à la création d'un centre de compétence en géothermie à Neuchâtel et développement de la géothermie profonde en vue d'une indépendance énergétique vers 2050.
- **Buts:** Prospection des aquifères profonds et sélection des sites les plus favorables et transfert de technologie vers les bureaux d'ingénieurs.
- **Financement:** Départements de la gestion du territoire et de l'économie du canton de Neuchâtel, ainsi que le Secrétariat d'Etat à l'Economie - SECO (CH).
- **Réalisation:** Etude détaillée de plusieurs sites en vue de l'implantation d'exploitations par doublets géothermiques, selon les aquifères profonds potentiels, les conditions géologiques locales et les lieux de consommation de chaleur.
- **Méthodes:** Prospection géologique et géophysique, modèle géologique 3D, campagne de gravimétrie, modèle géophysique.

Laboratoire suisse de géothermie



- 11 -

Université de Neuchâtel



Projet GeoNE : Transfert de technologie

Buts

Transfert des connaissances nécessaires en géothermie et en prospection géologique et géophysique aux bureaux d'ingénieurs en particulier dans le canton de Neuchâtel.

Réalisation

Laboratoire Suisse de Géothermie de l'Univ. de Neuchâtel.

Méthodes et outils à transférer

- Méthodes géophysiques: gravimétrie, magnéto-tellurique, modélisation, logiciels d'interprétation.
- Méthodes géologiques: modélisation 3D.
- Méthodes géochimiques: prélèvements et interprétation des données.

Programme 2010

Organisation de 2 conférences sur le projet GeoNE en novembre.

Programme 2011

Démarrage d'une formation continue en géothermie profonde à l'Univ. de Neuchâtel.



Laboratoire suisse de géothermie



- 12 -

Université de Neuchâtel



Projet GeoNE : 2 Conférences à l'Université de Neuchâtel

Conférence	Potentiel de la géothermie dans le canton du Neuchâtel	Information sur le programme de transfert de technologie du Laboratoire suisse de Géothermie
Date	Mardi 23 novembre 2010 13h45 - 18h00	Mercredi 24 novembre 2010 9h00 - 17h30
Public	Industrie et services publics	Bureaux d'ingénieurs et de géologues
Thèmes	<ul style="list-style-type: none"> - Potentiel géothermique du canton de NE. - Présentation des études PGN, PDGN et GeoNE. - Présentation des 3 régions sélectionnées. - Propositions d'investissement pour l'industrie. 	<ul style="list-style-type: none"> - Présentation du programme GeoNE et des 3 régions sélectionnées. - Présentation d'une collaboration en cours pour le transfert de technologie. - Démonstration des méthodes et outils du programme de transfert de technologie. - Propositions de collaborations avec des bureaux d'ingénieurs.
Coût	CHF 60	CHF 95

Laboratoire suisse de géothermie



- 13 -

Université de Neuchâtel



Projet GeoNE : Formation continue en géothermie profonde

Nom	Certificat d'études avancées (CAS) en géothermie profonde
Lieu	Laboratoire Suisse de géothermie, UNINE
Organisation	Centre d'Hydrogéologie et de Géothermie, CHYN
Objectif	Former des spécialistes en géothermie capables de monter, planifier et conduire des projets en géothermie profondes (APR et EGS)
Structure	4 modules de 5 jours répartis sur 7 mois, total 160 heures, 10 ECTS
Contenu du CAS	Cours, travaux pratiques, excursions, contrôle des connaissances, mémoire personnel de fin d'étude.
Thèmes des modules	1. Géologie et Géophysique - 2. Géochimie et hydrochimie 3. Forage et Diagraphies - Réservoirs et exploitation
Date Périodicité Langue	Septembre 2011 à mars 2012 Annuelle En anglais
Coût	De l'ordre de CHF 5'000

Laboratoire suisse de géothermie



- 14 -

Université de Neuchâtel





Merci de votre attention !

L'association suisse
de géothermie

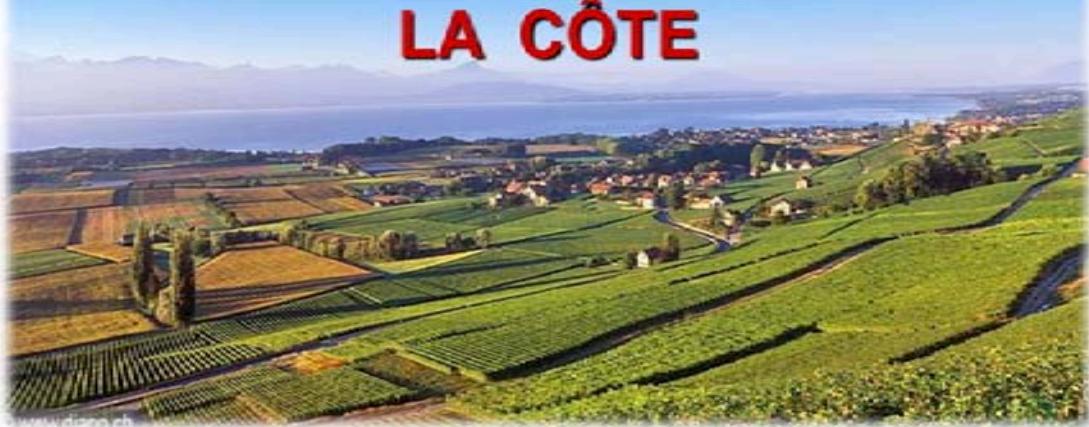
crege

- 15 -

Université
de Neuchâtel

unine

PROJET DE GÉOTHERMIE PROFONDE LA CÔTE



Le projet d'énergie durable et renouvelable de toute une région

Patrick VALLAT
Chef de projet



La Côte
Géothermie

UNE ÉQUIPE FORMIDABLE



Partenaires investisseurs :



sol-E
SUISSE

Solutions énergétiques durables
Soluzioni energetiche sostenibili
Nachhaltige Energielösungen
Une société du groupe RMB



VILLE DE

NYON

seic

SEFA

OFEN

SEVEN

Communes partenaires :

- **Aubonne**
- **Etoy**
- **Gland**
- **Nyon**

Mandataires principaux :

- **Gabrielle BIANCHETTI**
de Alpgéo Sàrl à Sierre
- **Dr Robert ARN**
de ARConseils à Etoy



Géothermie

CONDITION DE BASE



Projet de géothermie profonde qui ne cherche pas à faire de la stimulation des roches mais qui profite des failles naturelles dans lesquelles circulent de l'eau réchauffée au contact de la roche calcaire



La Côte
Géothermie

PRINCIPAUX AVANTAGES



- Production d'énergie indigène, renouvelable et durable
- Pas de déchets, pas de pollution, pas de nuisances et pas de dégagement de CO₂
- Pas de stockage car le système fonctionne en continu 24h/24h et 365 jours/an
- Très peu d'emprise sur le territoire, donc visuellement très bien intégré
- Coût de production stable car indépendant du prix des combustibles fossiles
- Bon marché par rapport aux modes de production énergétique actuels



La Côte
Géothermie

OBJECTIF



Priorité à la valorisation de la chaleur avec possibilité de production d'électricité si le business plan en confirme la rentabilité



La Côte
Géothermie

BUDGET PHASE B1



CHF 800'000.– TTC
pour les 5 sites sélectionnés

(environ 60% du budget pour la campagne de sismique réflexion)

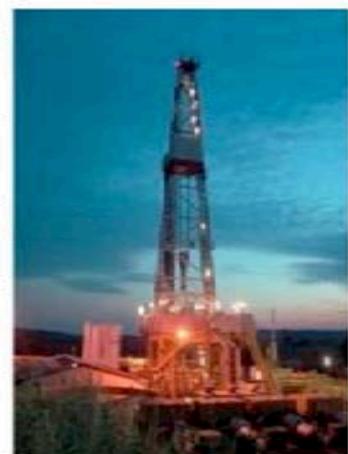


La Côte
Géothermie

PLANIFICATION DU PROJET



Phase A 2008 - 2009	Etude préliminaire d'identification des sites potentiels
Phase B1 2009 – 2010	Etude de faisabilité géophysique (choix d'un site pilote)
Phase B2 2010 - 2011	Business plan et recherche de financement pour le site pilote
Phase C1 2011 - 2012	Autorisations et appel d'offres pour le forage d'exploration
Phase C2 2012 - 2013	Réalisation d'un forage profond exploratoire
Phase D 2013 - 2014	Mise en place de réseaux de chauffage à distance (CAD)
Phase E 2014 - ...	Mise en exploitation et ... réalisation du projet sur d'autres sites

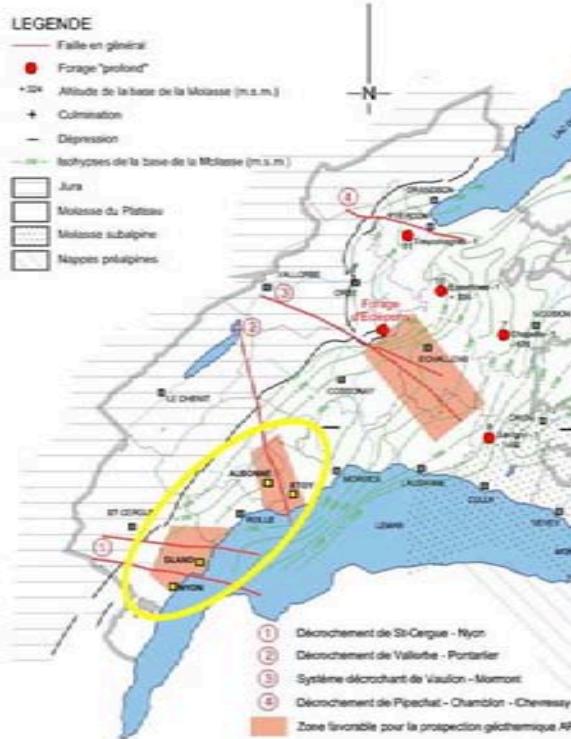


La Côte
Géothermie

RÉGION TOUCHÉE PAR LE PROJET



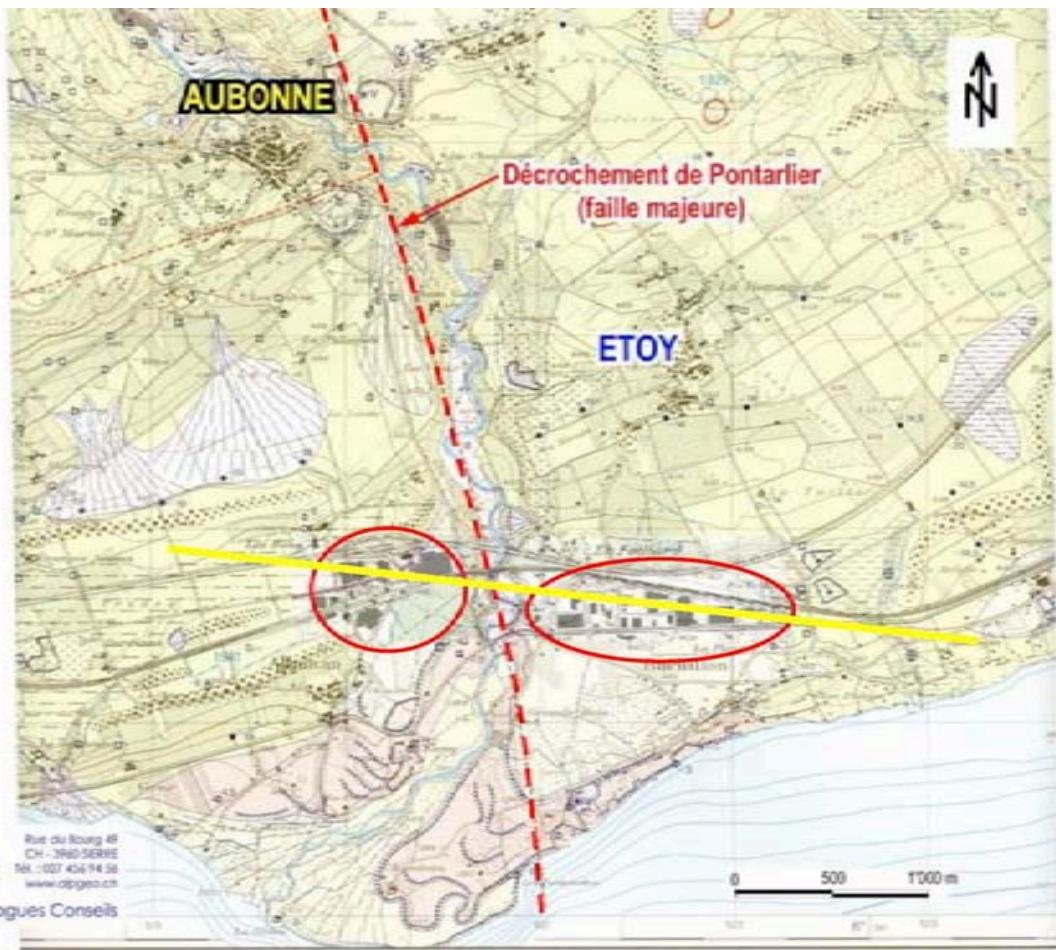
Districts de Nyon et Morges



0 10 20 km

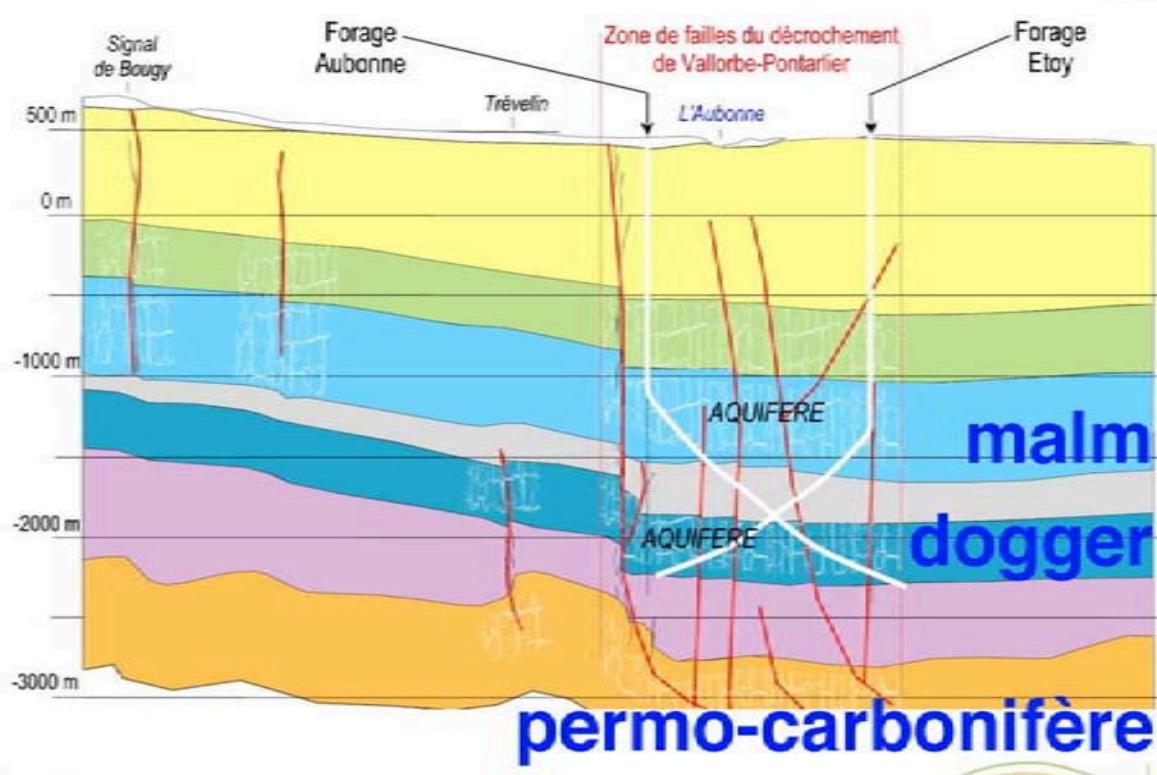


La Côte
Géothermie



Carte géologique : ATLAS GEOLOGIQUE DE LA SUISSE 1:25'000, FEUILLE 1'242 MORGES

POTENTIEL DE LA RÉGION



La Côte
Géothermie

ANALYSE DES RISQUES



- Nature des réservoirs et leur réalimentation
- Perméabilité et ouverture des fissures à des profondeurs supérieures à 3 km
- Orientation des fissures
- Profondeur exacte des réservoirs profonds
- Débit d'exploitation
- Température et qualité du fluide géothermal
- Coût du forage par doublet en cas de production d'électricité

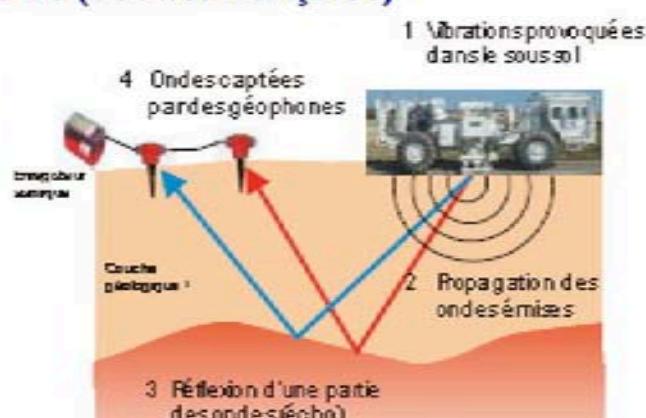


La Côte
Géothermie

CAMPAGNE DE SISMIQUE RÉFLEXION



- Longueur : environ 25 km de lignes sismiques
- Durée : du 6 au 20 avril 2010
- Dédommagement : CHF 290.— (1 seule plainte)
- Coût : environ 488'000.— TTC
- Nombre de camions vibrateurs : 3 (société française)

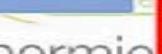
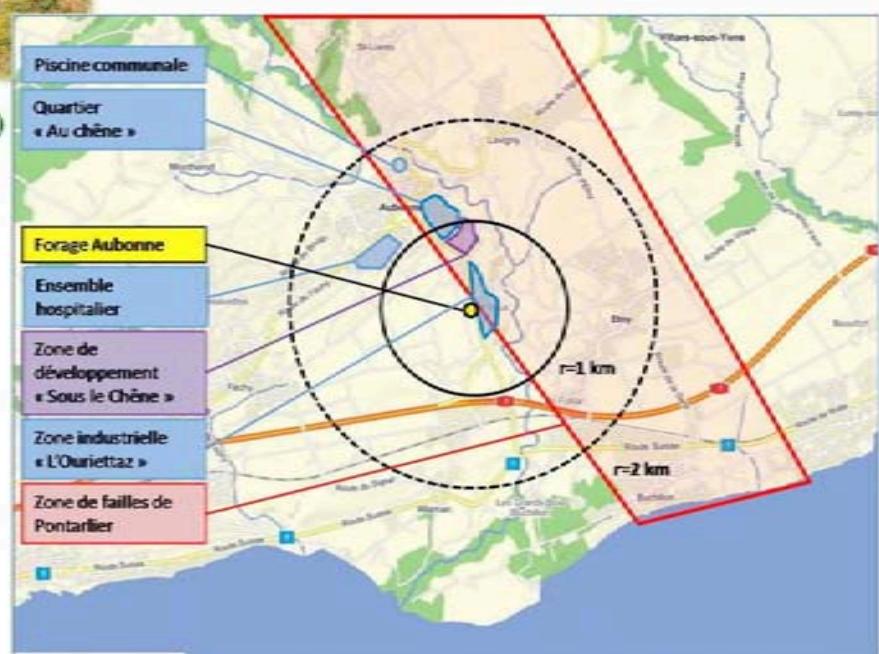


La Côte
Géothermie

AUBONNE



- Superficie : 688 ha (6.88 km²)
- Population : 2725 habitants

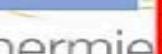
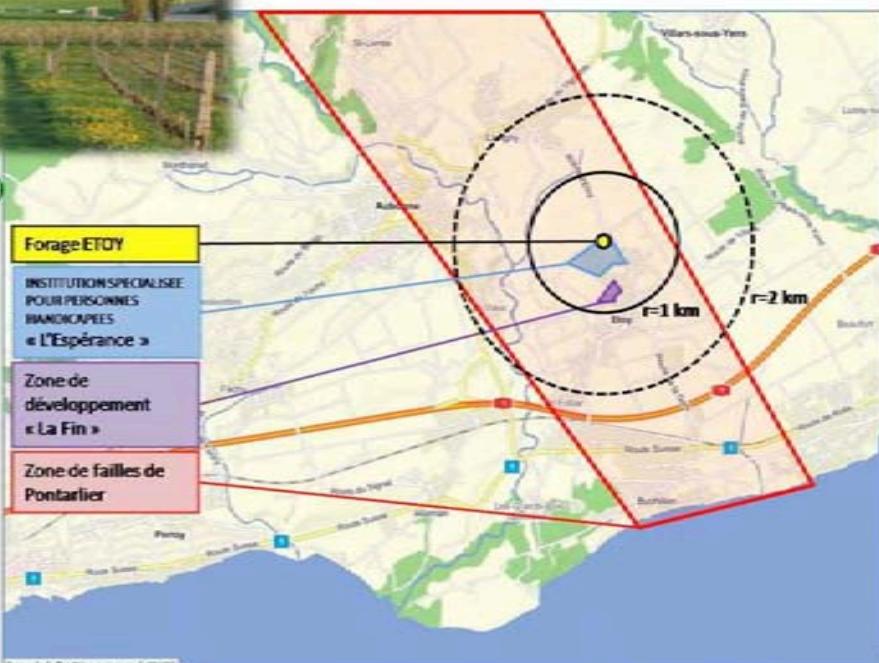


Géothermie

ETOY



- Superficie : 496 ha (4,96 km²)
- Population : 2496 habitants

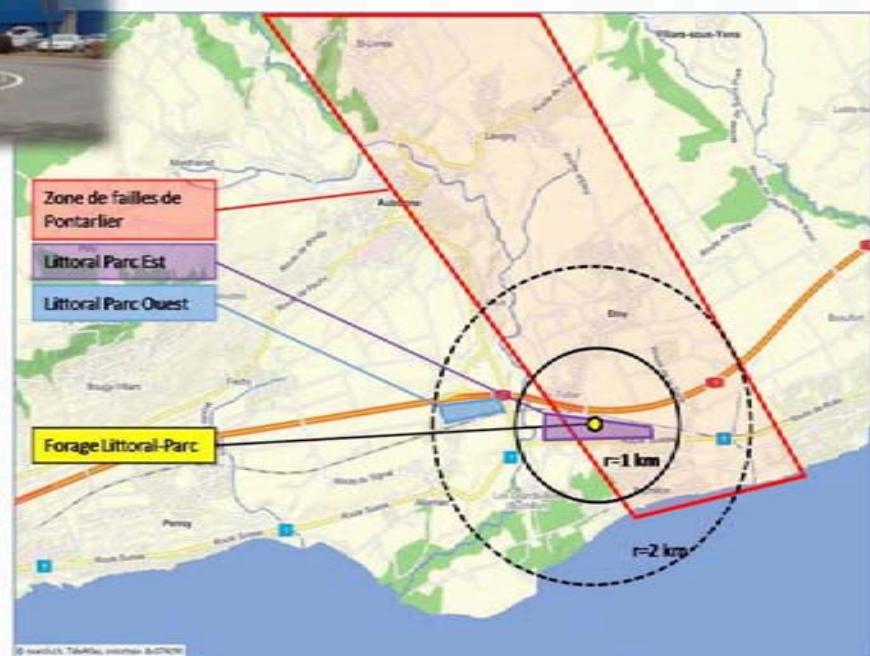


Géothermie

LITTORAL-PARC



- Superficie : 67 ha (0,67 km²)
- Zone commerciale

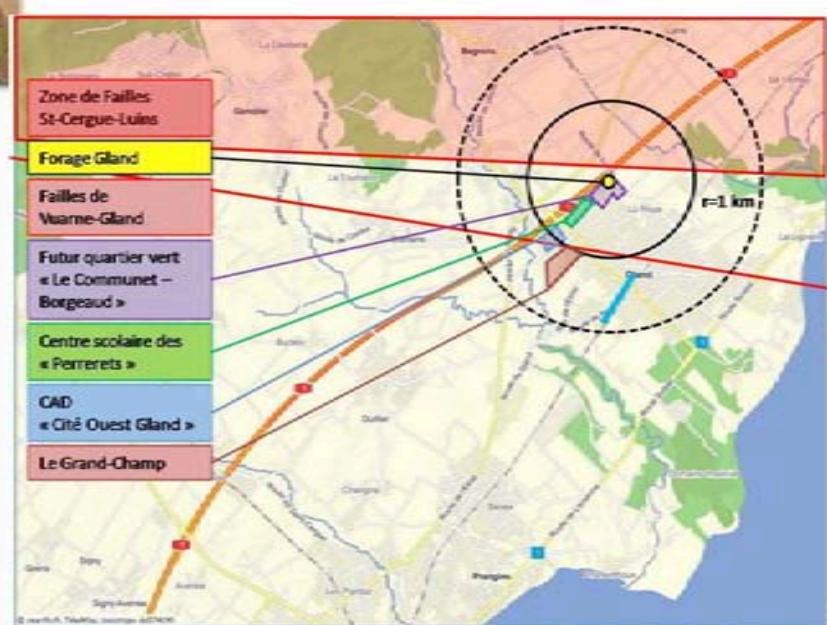


Géothermie

GLAND



- Superficie : 830 ha (8,3 km²)
- Population : 11'165 habitants

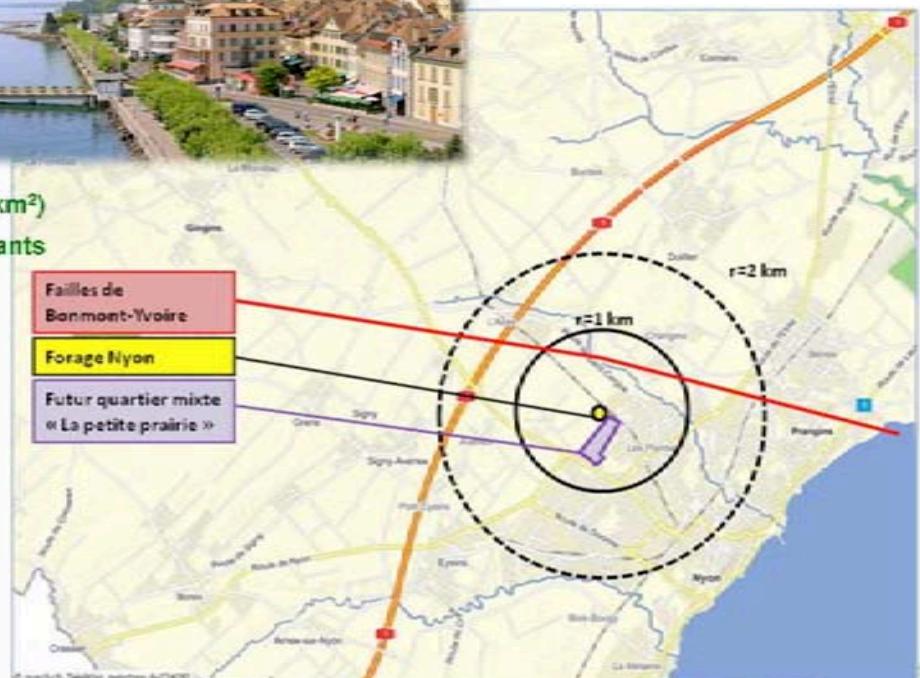


Géothermie

NYON



- Superficie : 674 ha (6,74 km²)
- Population : 17'981 habitants



Géothermie

POTENTIELS



Couche du Dogger :

Localité	Température moyenne	Profondeur du forage
Unités :	[°C]	[m]
Aubonne - Etoy	82	2400
Gland	87	2550
Nyon	84	2450

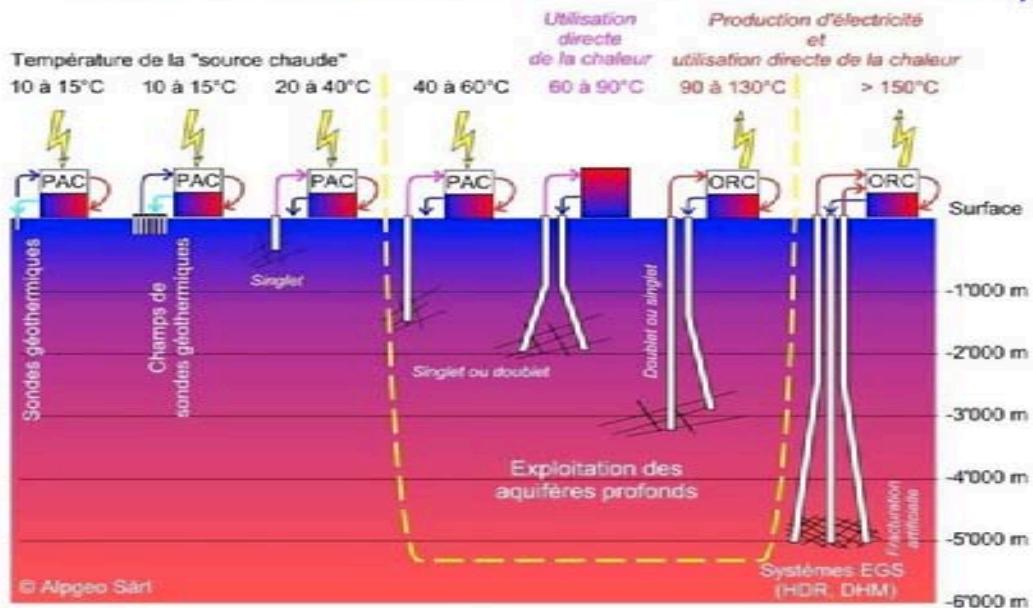
Couche du Permo-carbonifère :

Localité	Température moyenne	Profondeur du forage
Unités :	[°C]	[m]
Aubonne - Etoy	165	5500
Gland	150	4800
Nyon	130	4000



La Côte
Géothermie

TYPE D'EXPLOITATION



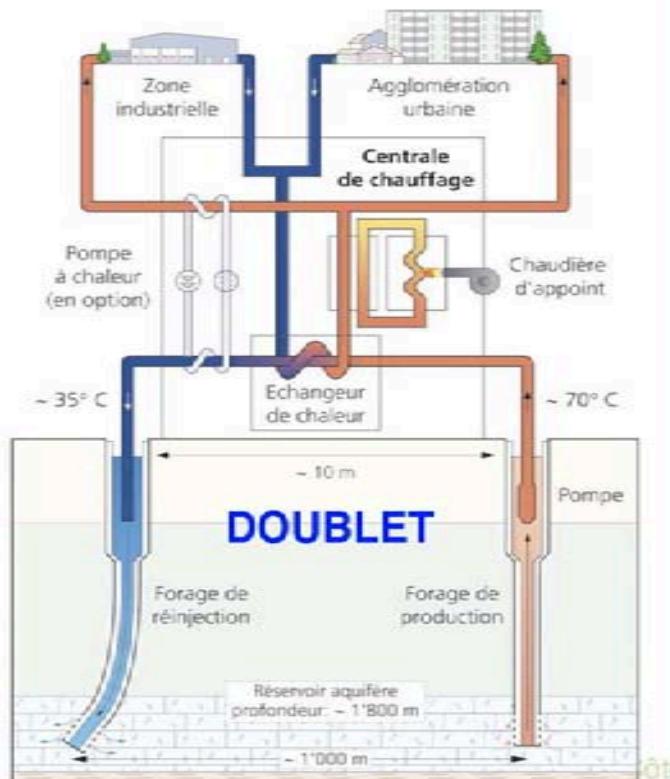
- Température : entre 82 et 165 °C
- Profondeur : de 2400 à 5500 mètres
- Fracturation : pas nécessaire, la nature a déjà fait le travail !
- Débits envisagés : 15 à 30 litres / seconde

La Côte
Géothermie

PROCESSUS D'EXPLOITATION



- Plate-forme avec emprise au sol de 33 sur 35 mètres pour les profondeurs envisagées
- Précautions pour éviter toute pollution de la nappe phréatique: radier étanche, séparateurs d'huile, tronçon tubé et cimenté, etc...
- Système en doublet



Géothermie

ANALYSE « SWOT »



Utile pour atteindre l'objectif

Néfaste pour atteindre l'objectif

Origine interne (organisation)	FORCES	FAIBLESSES
	<ul style="list-style-type: none">➤ Hautes compétences➤ Échanges et complémentarité➤ Solidarité et coordination➤ Motivation et enthousiasme➤ Investissement propre➤ Implication des mandataires	<ul style="list-style-type: none">➤ Compétences rares➤ Durée du projet➤ Restriction budgétaire➤ Démarches administratives
Origine externe (environnement)	OPPORTUNITÉS	MENACES
	<ul style="list-style-type: none">➤ Implication des Communes➤ Implication du politique➤ Implication des investisseurs➤ Démarche participative➤ Acceptation du projet➤ Projet novateur➤ Convention de partenariat (MoU)➤ Synergies avec d'autres projets	<ul style="list-style-type: none">➤ Fiabilité des informations➤ Absence couverture du risque➤ Phénomène de mode➤ Adéquation à la demande➤ Priorité production d'électricité➤ Rendement à tout prix➤ Vision du court terme➤ Médias (Bâle...)



La Côte
Géothermie

QUESTIONS



La Côte
Géothermie



Patrick VALLAT



Chef de projet GP La Côte

p/a SEIC – Chemin des Avouillons 2 – Case postale 321

1196 Gland

079 / 205 60 77 – info@geothermielacote.ch



La Côte
Géothermie



Presentation

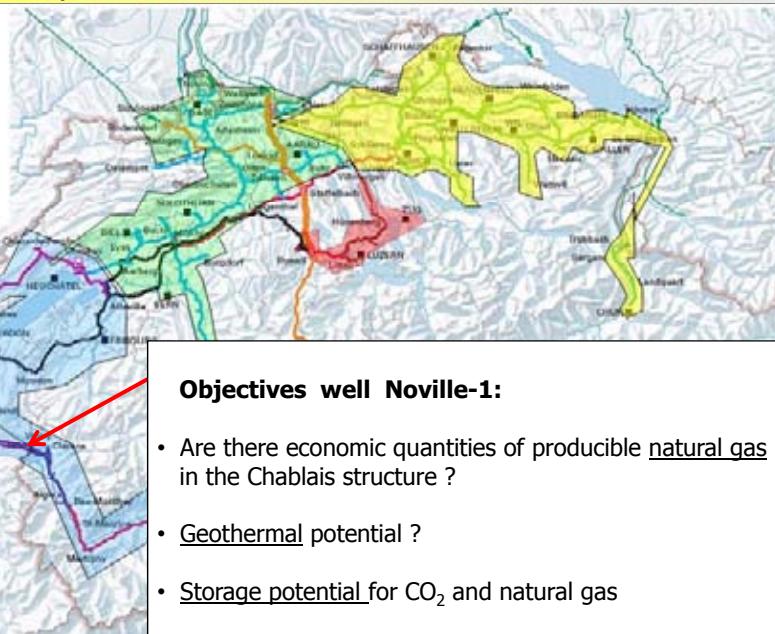
- **Petrovibri SA who?**
- **Exploration Concept, Geology**
- **Noville-1**
- **First Results**

Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon - Noville-1

geo team **petrovibri sa**

2

Gas Industry Switzerland



Objectives well Noville-1:

- Are there economic quantities of producible natural gas in the Chablais structure ?
- Geothermal potential ?
- Storage potential for CO₂ and natural gas

Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon - Noville-1



3

Petrosvibri SA

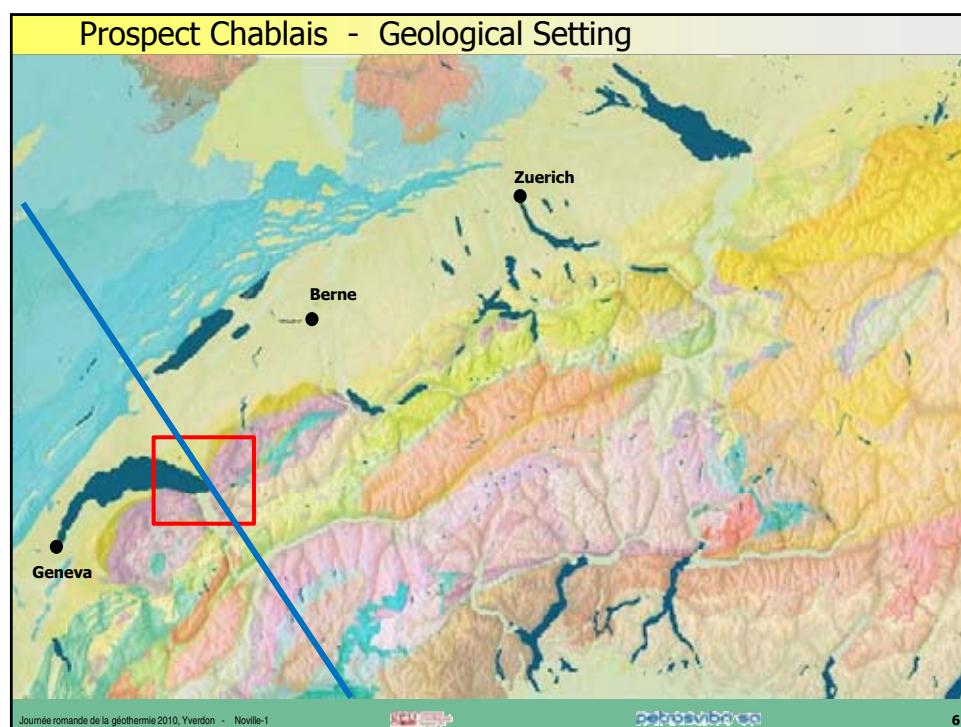
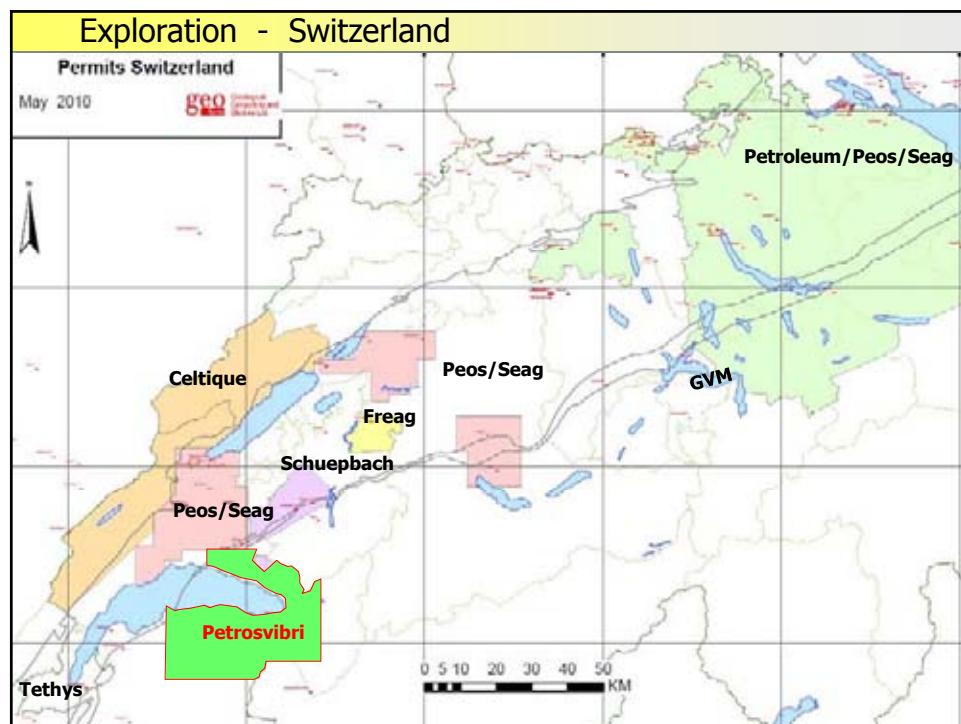


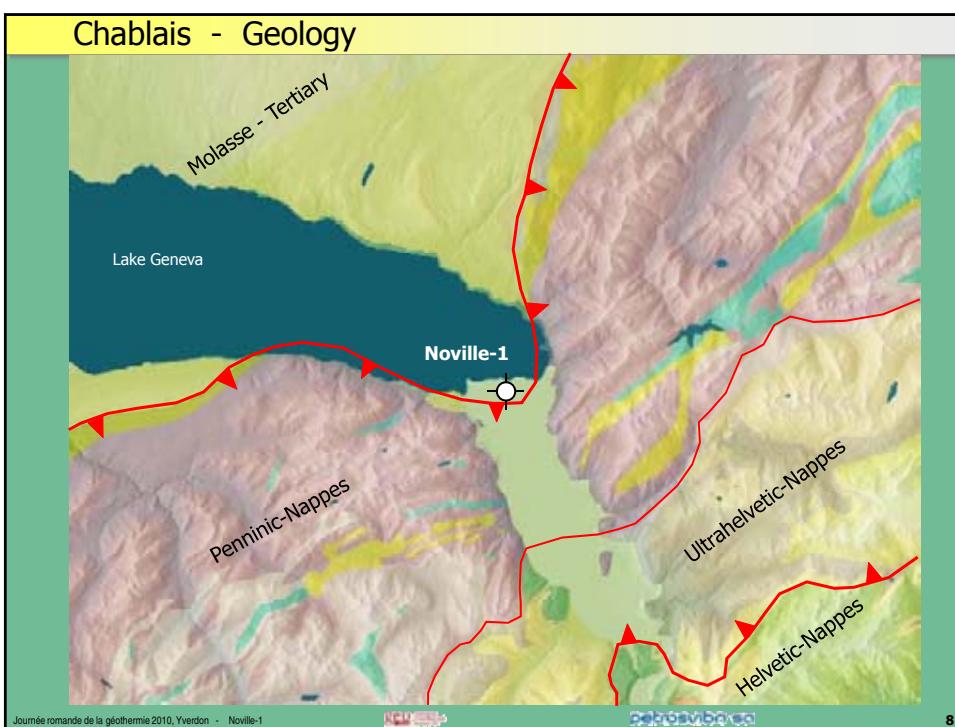
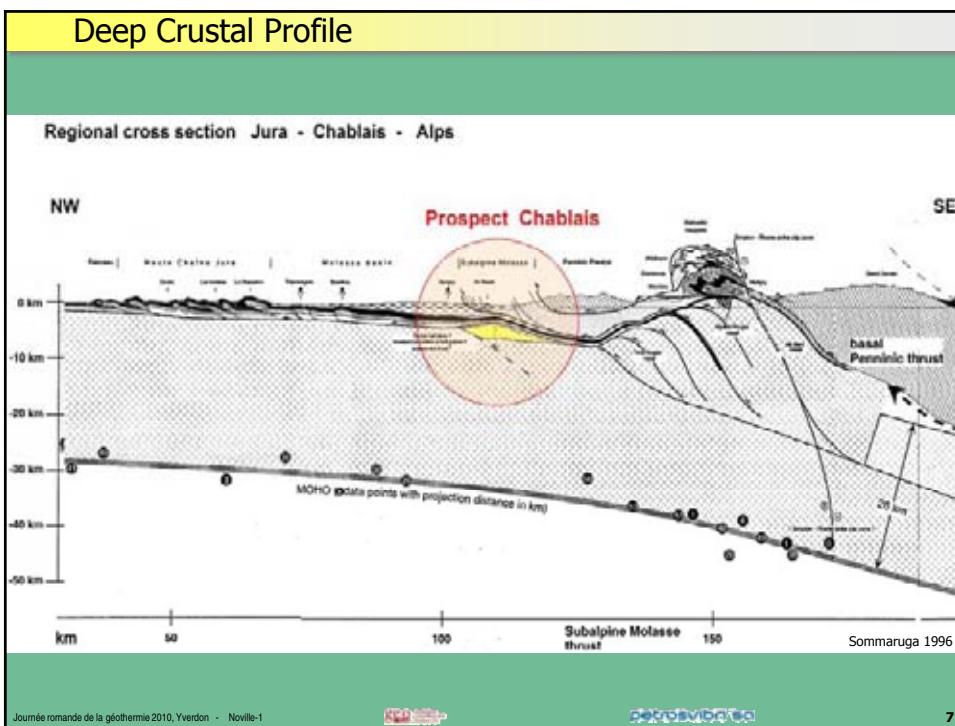
- founded in 1980 (BEB and Swisspetrol)
- discovered Chablais prospect

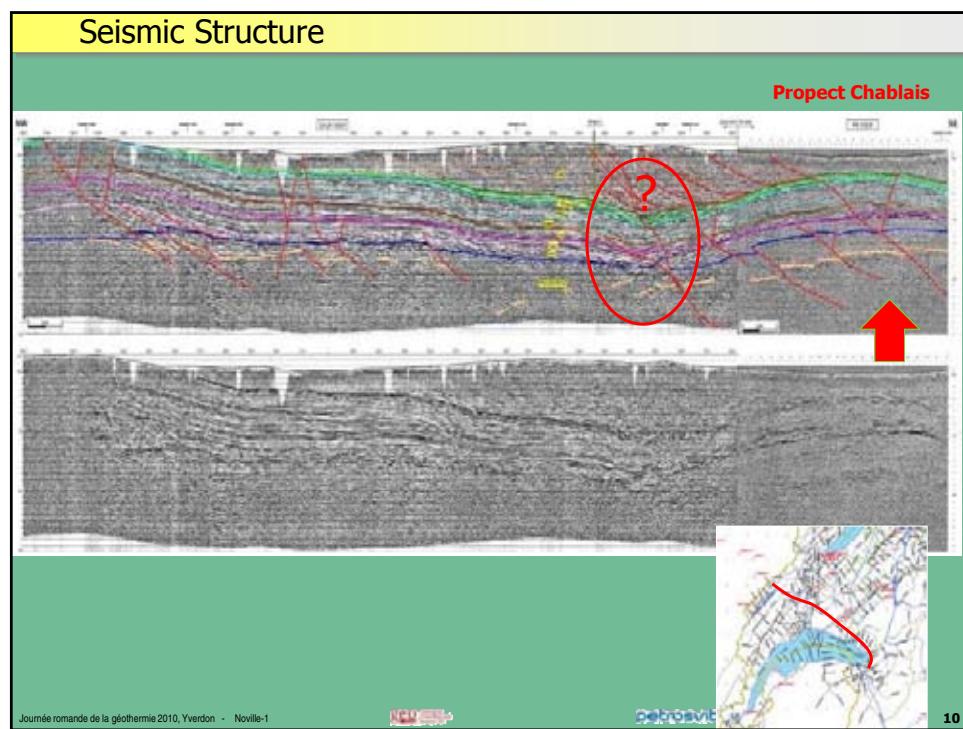
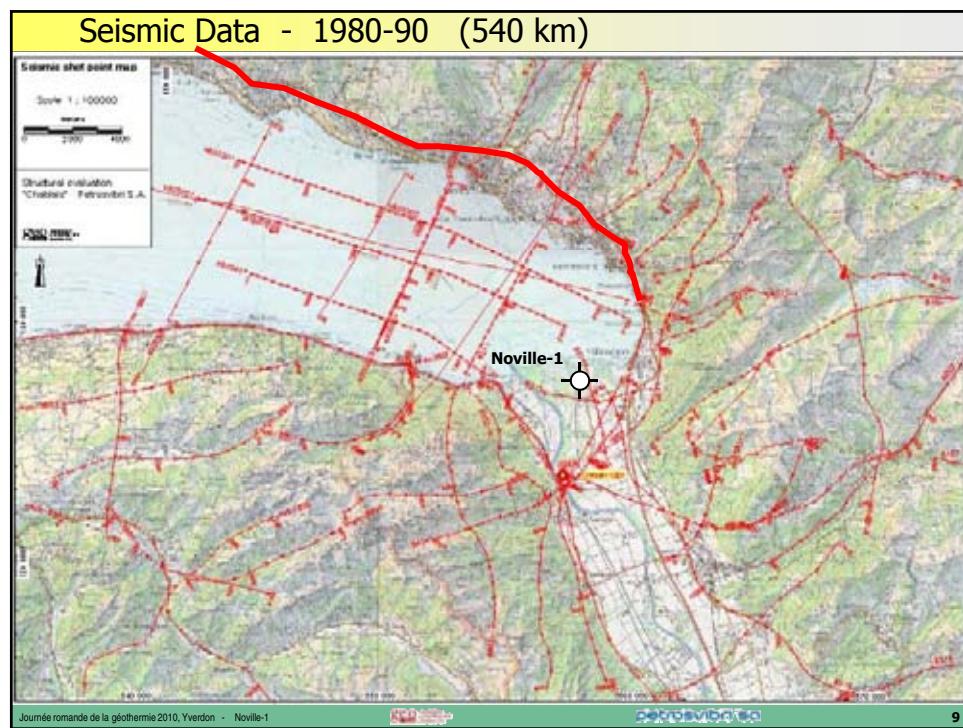
Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon - Noville-1



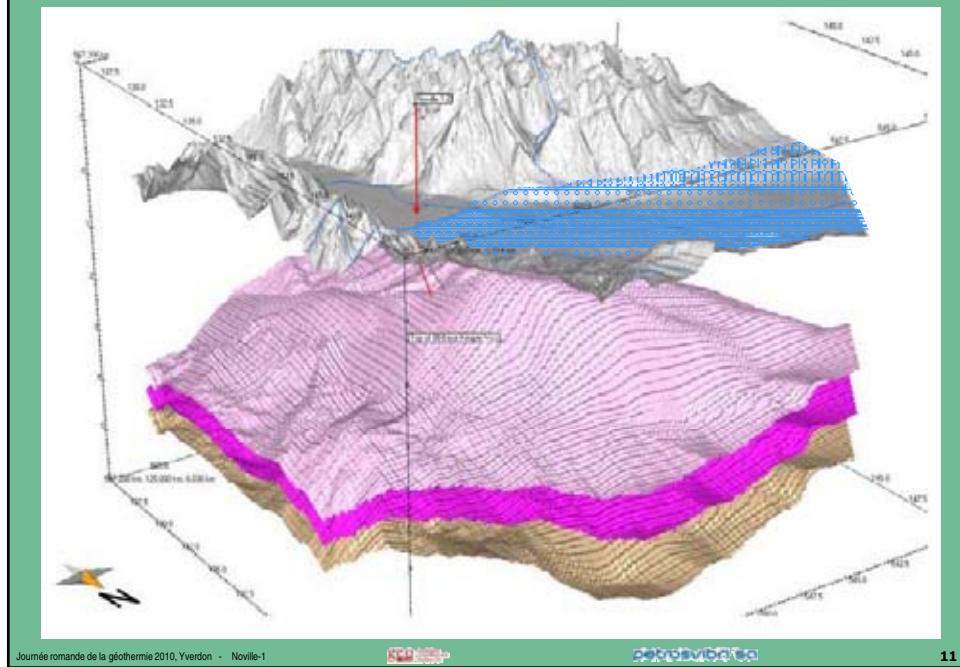
4







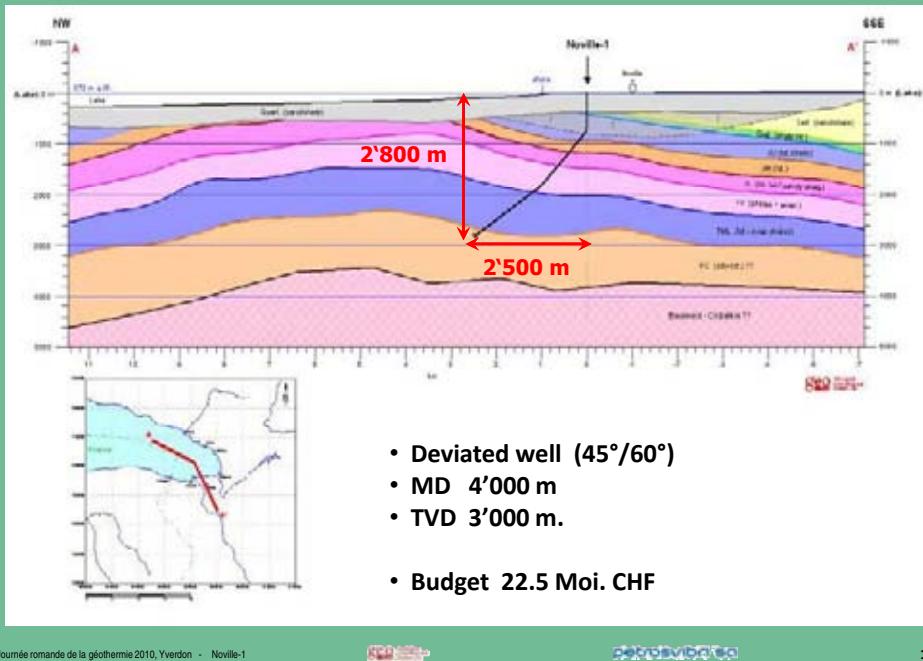
Structural culmination - Lake Geneva



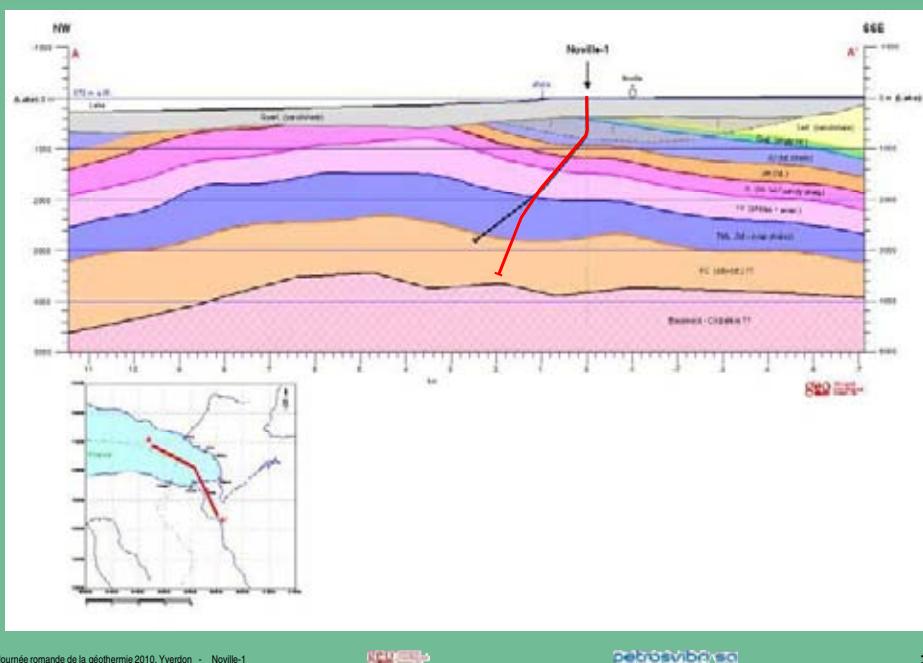
Well Location Noville-1 ??

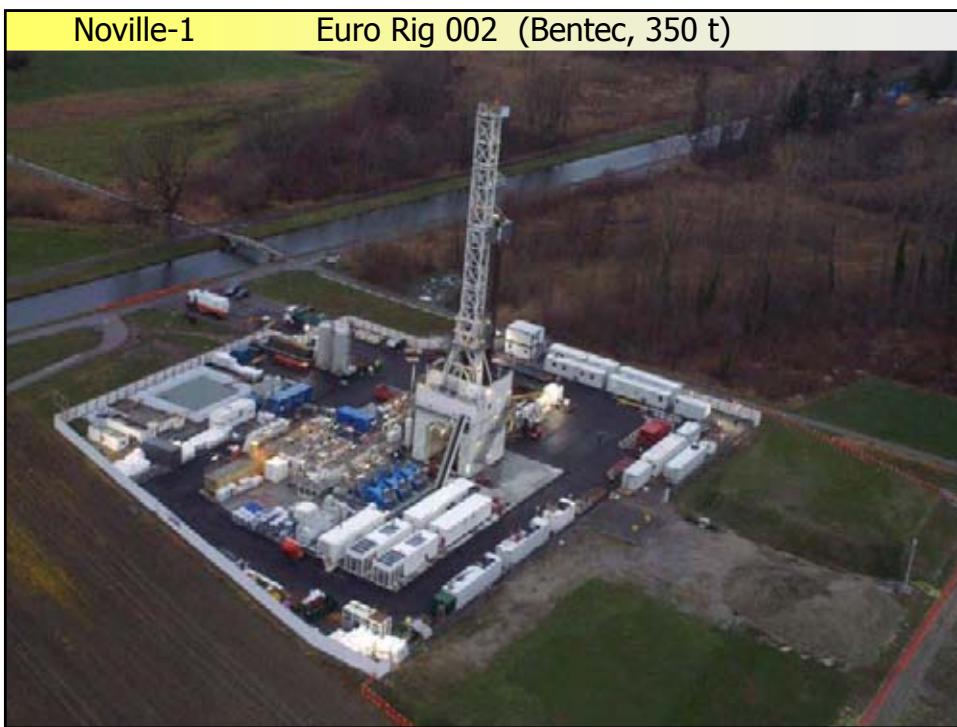
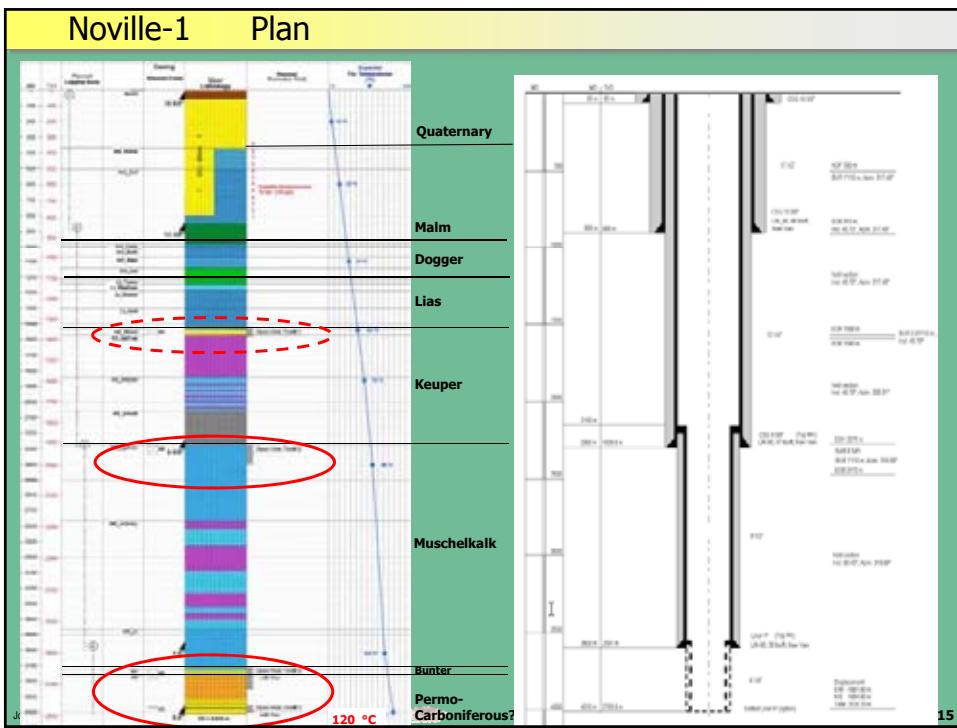


Noville-1 Plan

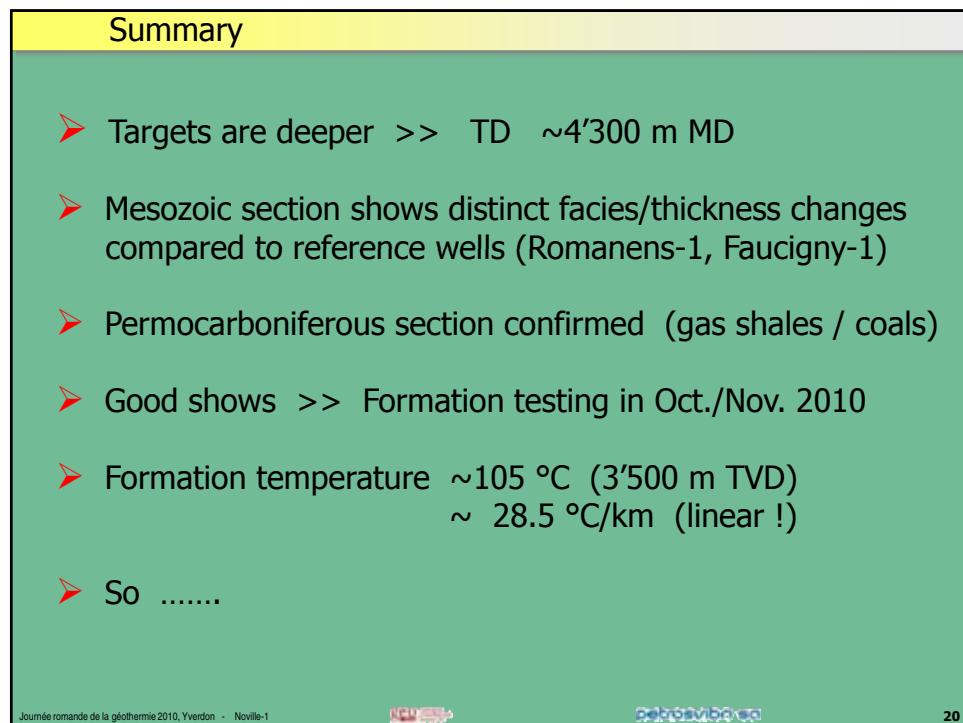
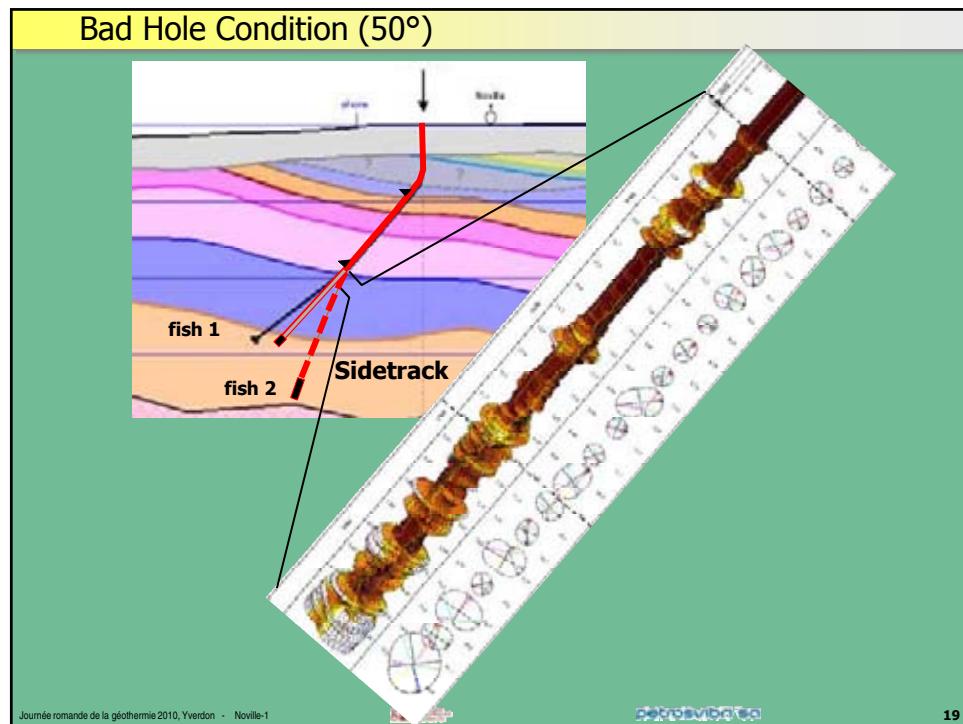


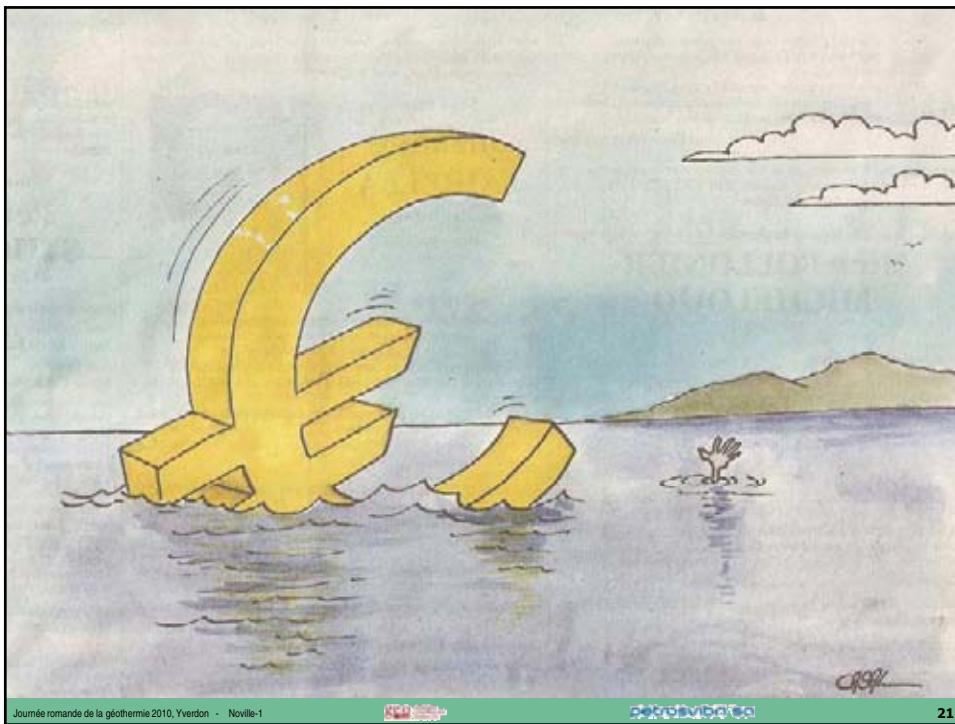
Noville-1 Drilled











Journée romande de la géothermie 2010, Yverdon - Noville-1

geo vibri

petrosvibri sa

21

A poster for the Noville-1 geothermal project. The top half features a photograph of a lake with mountains in the background. Overlaid on the image is the text "Noville-1 (VD)" and "Géologie, géothermie, exploration gaz naturel et état d'avancement du projet". The bottom half shows a large bottle of wine standing in the water, with the word "Merci" written across it. The poster includes logos for "geo vibri" and "petrosvibri sa".

Noville-1 (VD)

**Géologie, géothermie, exploration gaz naturel
et état d'avancement du projet**

Yverdon, mardi 28 septembre 2010
Journée romande de la géothermie

Merci

Werner Leu

geo vibri

petrosvibri sa



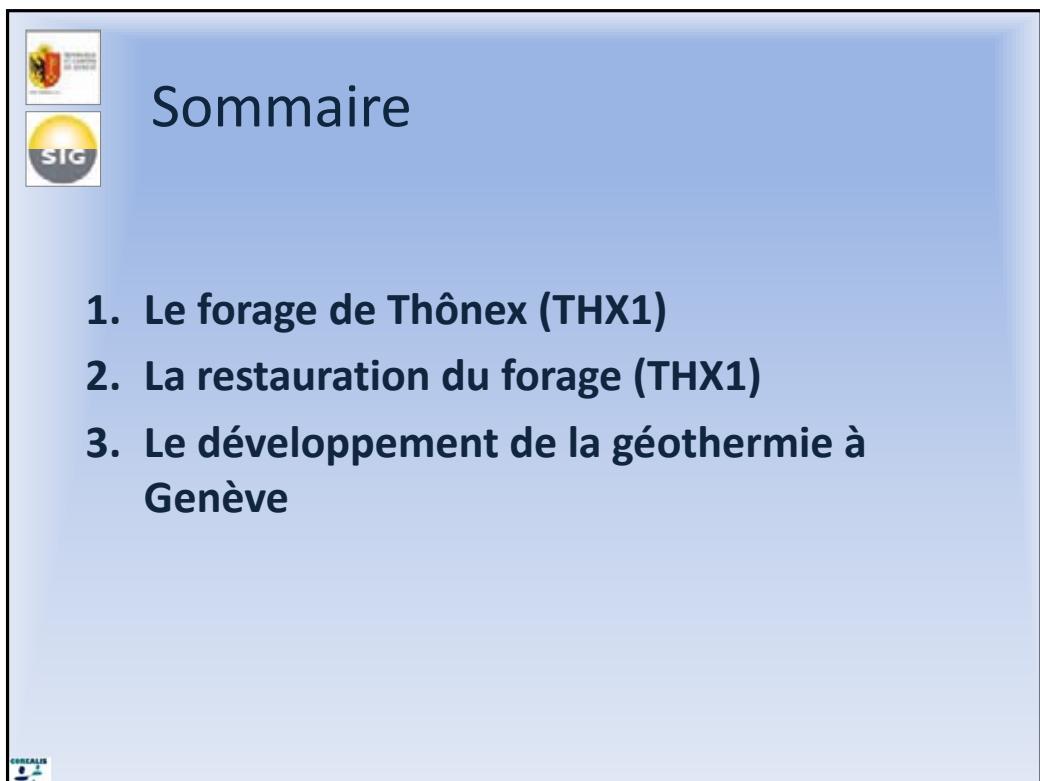
Géothermie à Genève

Etat d'avancement du projet
GeotherMICA

28 septembre 2010, Yverdon

COREALIS

The slide features a large aerial photograph of Geneva and the surrounding lake. Overlaid on the bottom right is a geological cross-section showing various rock layers (green, blue, red, black) and a blue area representing water or a specific geological feature.



Sommaire

- 1. Le forage de Thônex (THX1)**
- 2. La restauration du forage (THX1)**
- 3. Le développement de la géothermie à Genève**

COREALIS



1. Le forage de THX1 1993

Objectifs de THX 1

Géologiques:

- Etablir la stratigraphie de la région jusqu'à 2700m,
- Vérifier la présence d'un aquifère dans le Malm

Techniques :

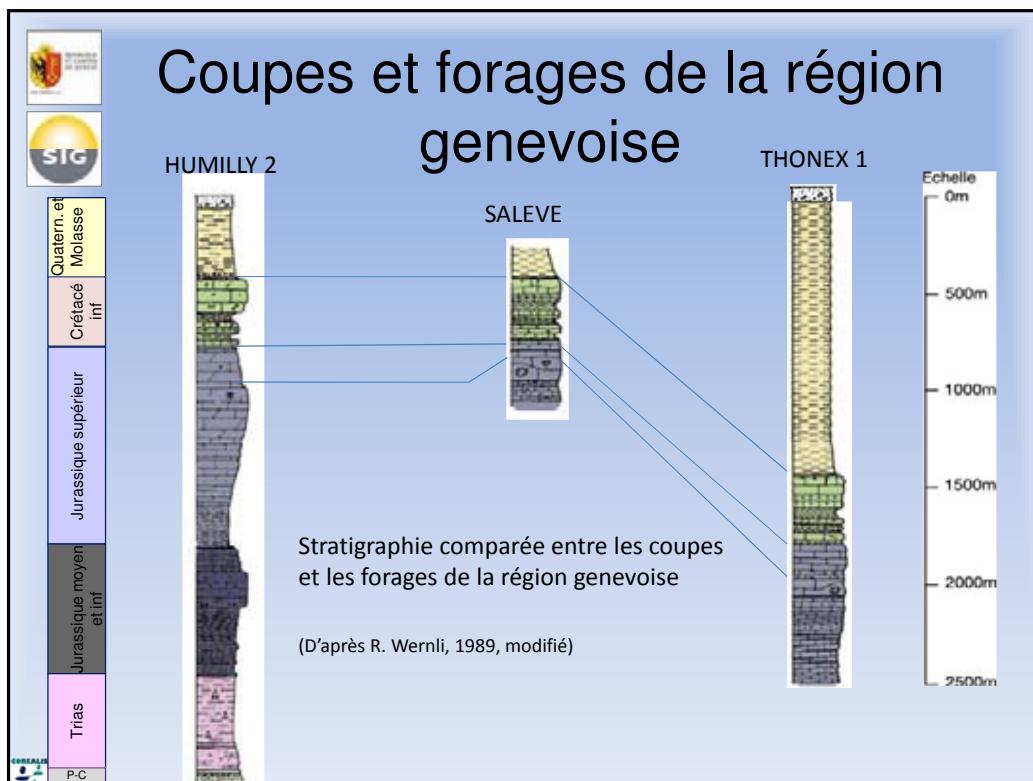
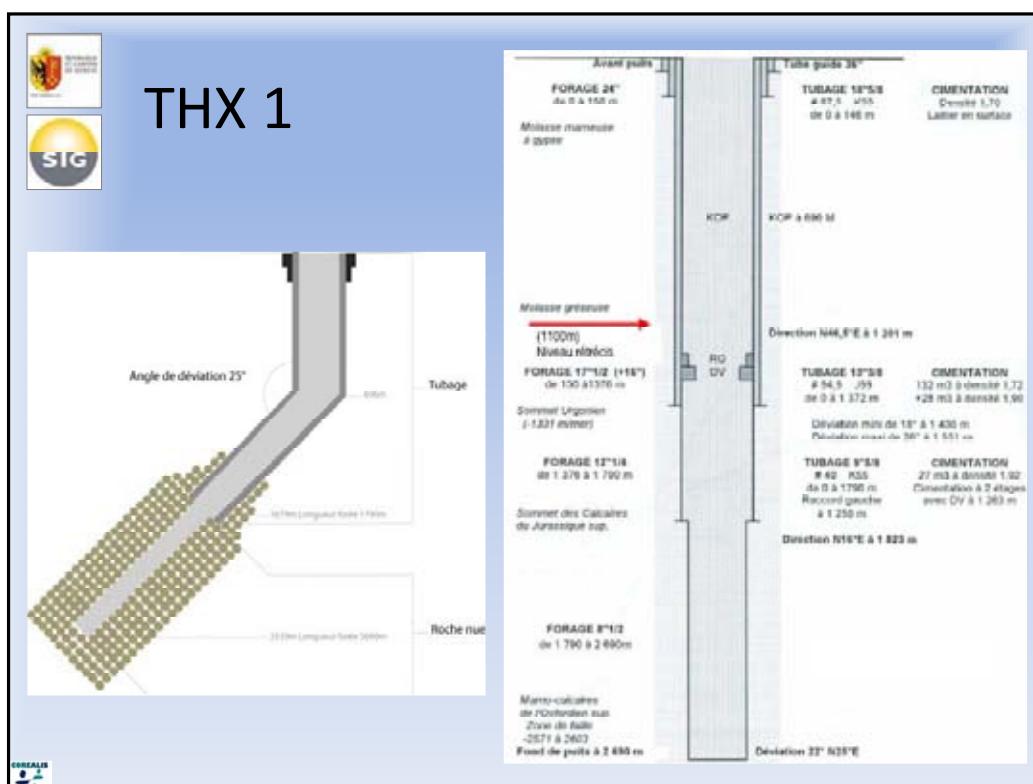
- Levés sismiques
- 2 forages (doublet)

Géothermiques:

- Établir le gradient géothermique de la région
- Capter un débit minimum de 20l/s à 60°C

Financiers :

- Crédit de 8.7 mios du Canton en 1989
- Garantie de risque de la Confédération





Résultats

Géologiques:

- Stratigraphie établie et relativement conforme aux prévisions
- Aquifère dans le Malm peu productif, car manque de fissures ouvertes

Techniques :

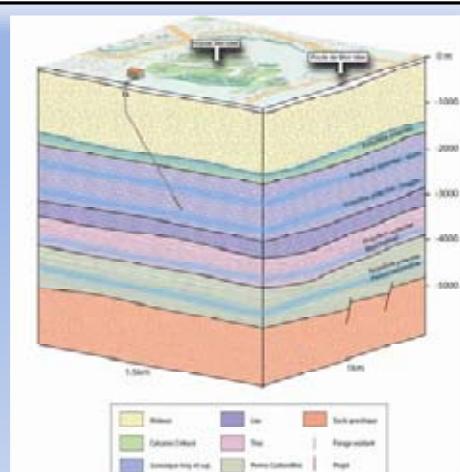
- Levés sismiques mettant en évidence des zones faillées
- 1 forage , plusieurs incidents (pannes, rupture de matériel, erreurs humaines)

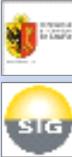
Géothermiques:

- Gradient géothermique de $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$
- Essai de production par air-lift (émulsion à l'air) de 51 h a débité initialement $35 \text{ m}^3/\text{h}$, puis baissé rapidement à $20 \text{ m}^3/\text{h}$ pour se stabiliser à $11 \text{ m}^3/\text{h}$ (3 l/s) après 6 h. Le volume produit a été de 795 m^3 avec un rabattement de 339 m.
- Après l'arrêt du pompage, le niveau de l'eau est remonté et un léger débit artésien s'est manifesté, l'eau s'écoulant hors du forage. La température a été relevée en continu lors de l'essai de pompage, 70°C à 1907 m/sol

Financiers :

- Montant total dépensé : $8'676'715.60 \text{ F}$
- Dont une participation de la Confédération de $3'918'641 \text{ F}$





2. La restauration de THX1

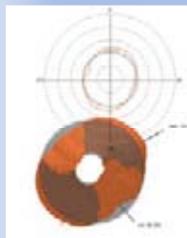




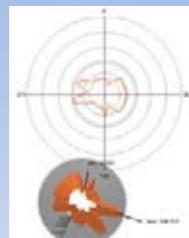


CALIPER avec sonde scanner acoustique

1^{ère} étape: vérification de l'état du tubage



Etat du tubage à 30 m,
légère déformation ou
inclinaison de l'appareil ?
Pas possible de distinguer.



Etat du tubage à 1165 m.
Rétrécissement dû à un
bouchon.

- Forage bouché à 1165 m



Inspection vidéo

2^{ème} étape: connaître l'origine du bouchon et observer les anomalies du tubage



Jointure entre les tubes d'acier



Ecaillage de l'encroûtement

- Parois du tubage en bon état
- Encroûtements bactériens (fer, soufre, calcium et matière organique)





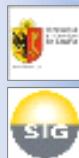
COILED TUBING

3^{ème} étape: nettoyage du tubage

- Injection d'eau sous pression à 200 bar
- Nettoyage effectué jusqu'à la fin de la partie tubée à 1790 m



COREALIS



Restauration du forage, 20 mars 2009



GEF



CALIPER de contrôle, 30 avril 2009

4ème étape: contrôle du forage

- Une sonde caliper à 3 bras pour mesurer le diamètre au-delà du tubage en acier
- Une sonde de température
 - ▶ Profondeur atteinte : 1850 m
 - ▶ Obstruction avec blocs de calcaire !
 - ▶ Température : 67 °C
 - ▶ Diamètre du tubage régulier



3. Le développement de la géothermie à Genève





Stratégie cantonale

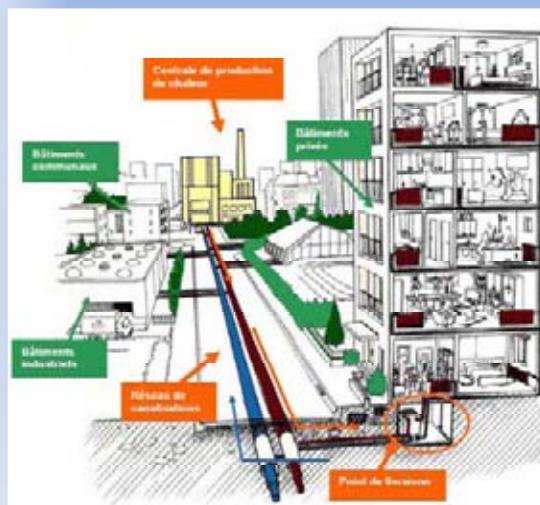
- La géothermie est
 - l'un des axes de développement prioritaire
 - une filière d'approvisionnement énergétique offrant les plus importants potentiels en regard de l'objectif de politique énergétique d'une société à 2000 W sans nucléaire.
- Documents officiels
 - Conception générale de l'énergie
 - Plan directeur de l'énergie
 - Programme de législature 2010-2013 du CE

COREALIS



Stratégie SIG

- Extension et interconnexion des réseaux
- Production de chaleur renouvelable
- Compensation des émissions CO2

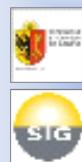


COREALIS



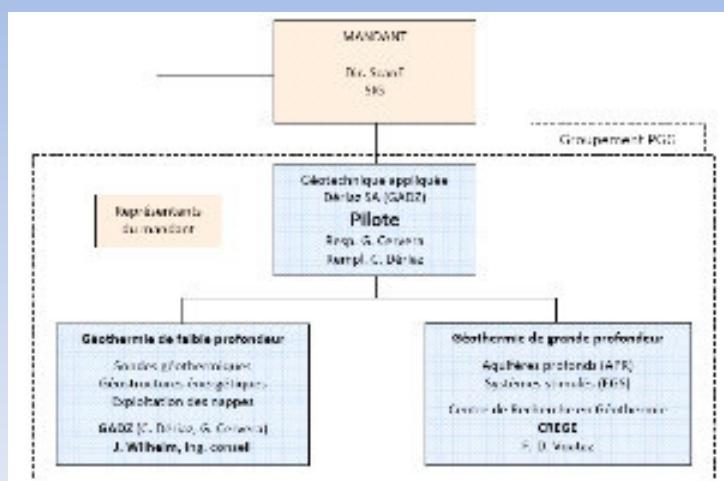
Grande profondeur Développement en 3 phases

- L'étude du potentiel géothermique genevois (PGG)
2009-2010
- Le programme cantonal de prospection et d'exploration du sous-sol genevois
2011-2013
- Les projets énergétiques
2013- 2025



L'étude du PGG

Potentiel Géothermique Genevois





Les livrables du PGG

- GEOLOGIE ET HYDROGEOLOGIE DU CANTON JUSQU'À 400 M)
- LES SONDES GEOTHERMIQUES VERTICALES
- LES GEOSTRUCTURES
- EXPLOITATION THERMIQUE DES NAPPES PHREATIQUES
- LE STOCKAGE SAISONNIER
- RESSOURCES EN AQUIFERES PROFONDS (APR)
- GEOTHERMIE DE GRANDE PROFONDEUR - SYSTEMES GEOTHERMIQUES STIMULES (EGS)



Programme cantonal de prospection et d'exploration du sous-sol genevois

Objectifs :

- lever les inconnues existantes du sous-sol genevois
- réaliser un modèle 2D/3D du sous-sol genevois avec les techniques de pointe
- définir les futurs projets (sites, profondeurs, POS)

Spécificités des différentes couches, telles que :

- leur profondeur
- leur nature et leur épaisseur
- la porosité des zones présumées aquifères
- la circulation de l'eau dans le sous-sol





Définition du programme Travaux en cours

- Définition du programme scientifique
 - Investigations de surface(p. ex. géophysique 2D vs 3D)
 - Choix du/des site(s) d'exploration
 - Forage(s) et analyses
- Analyse des risques
- Budget et financement
- Mise en place de la structure organisationnelle
- Planification
- Procédures de demandes d'autorisation et EIE
- Plan de communication



Développement en 3 phases

Phase 1

Compilation données GE (étude PGG)

Phase 2

Exploration sismique globale

en complément des lignes existantes acquises par vibro-sismique (1967-68, 1980-83, 1987-88)

Investigations Site A

Investigations Site B

Investigations Site C

Investigations Site D

Forage exploratoire A

Forage exploratoire B

Forage exploratoire D

Phase 3

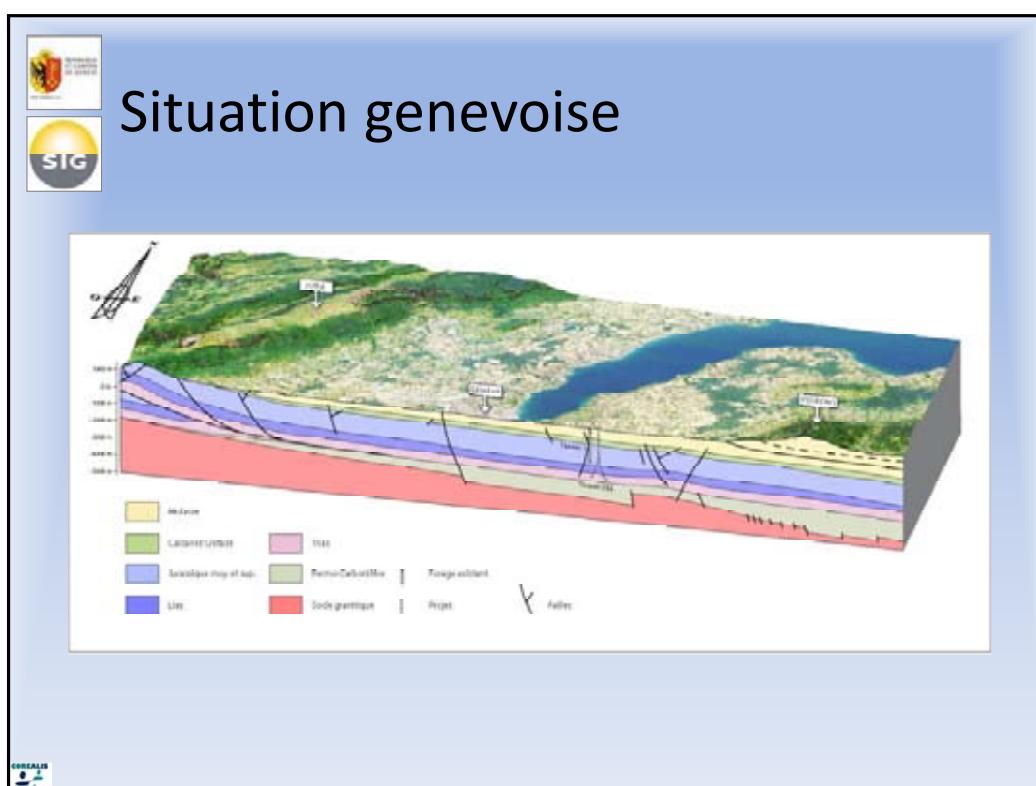
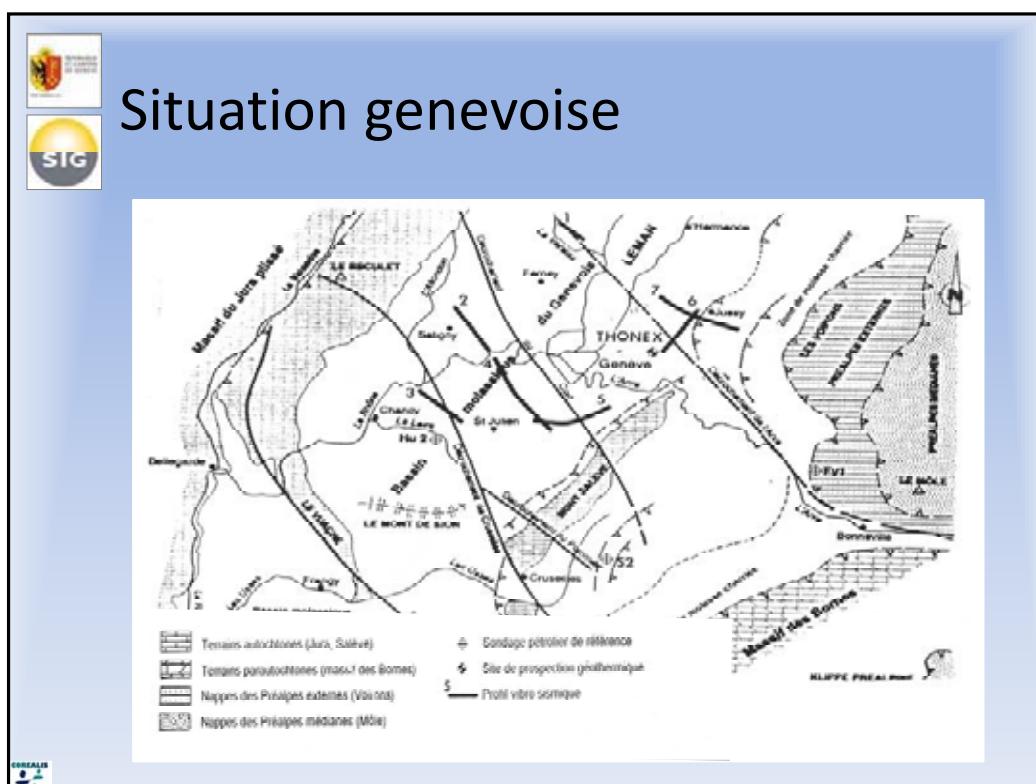


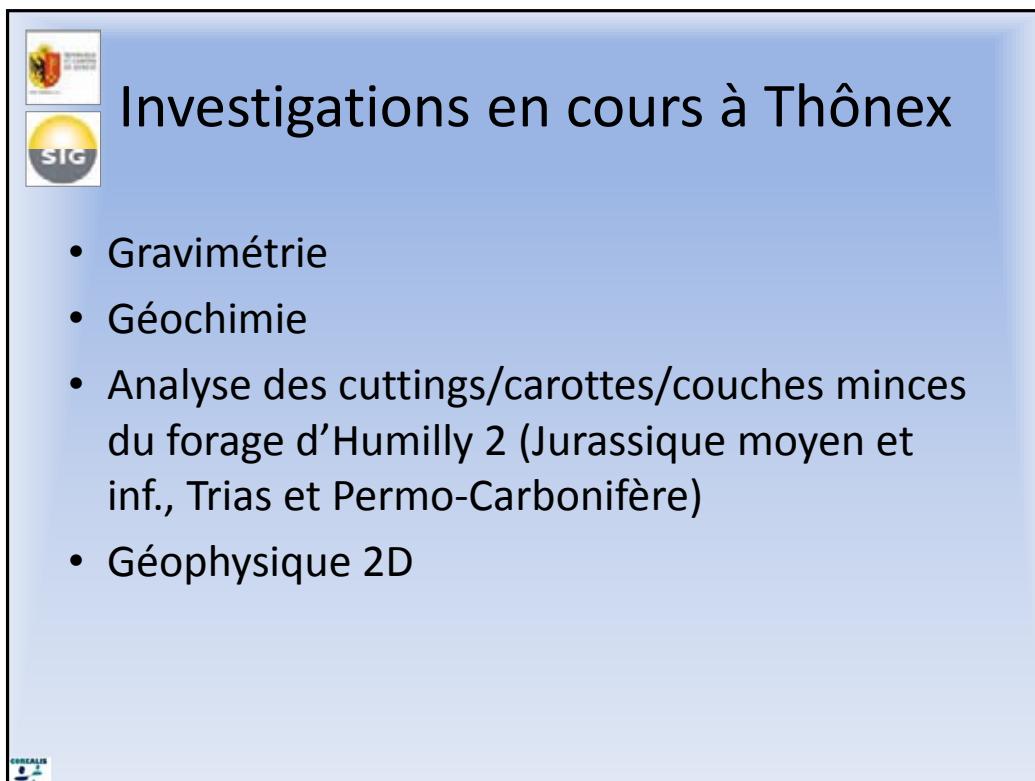
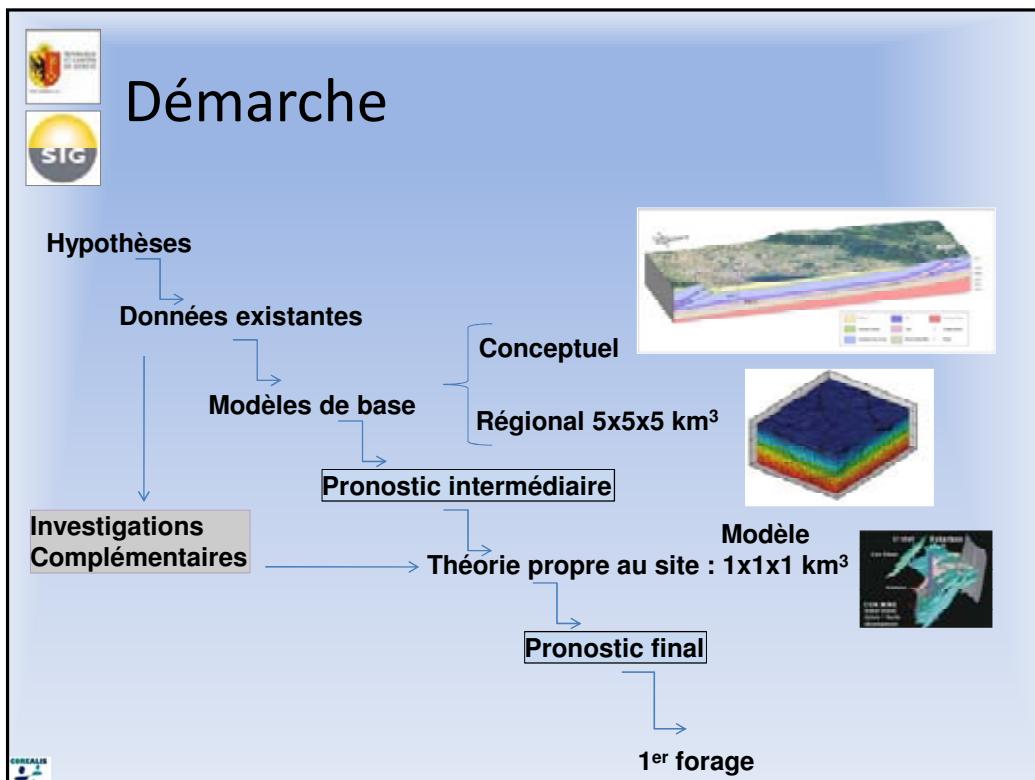
Projet 1

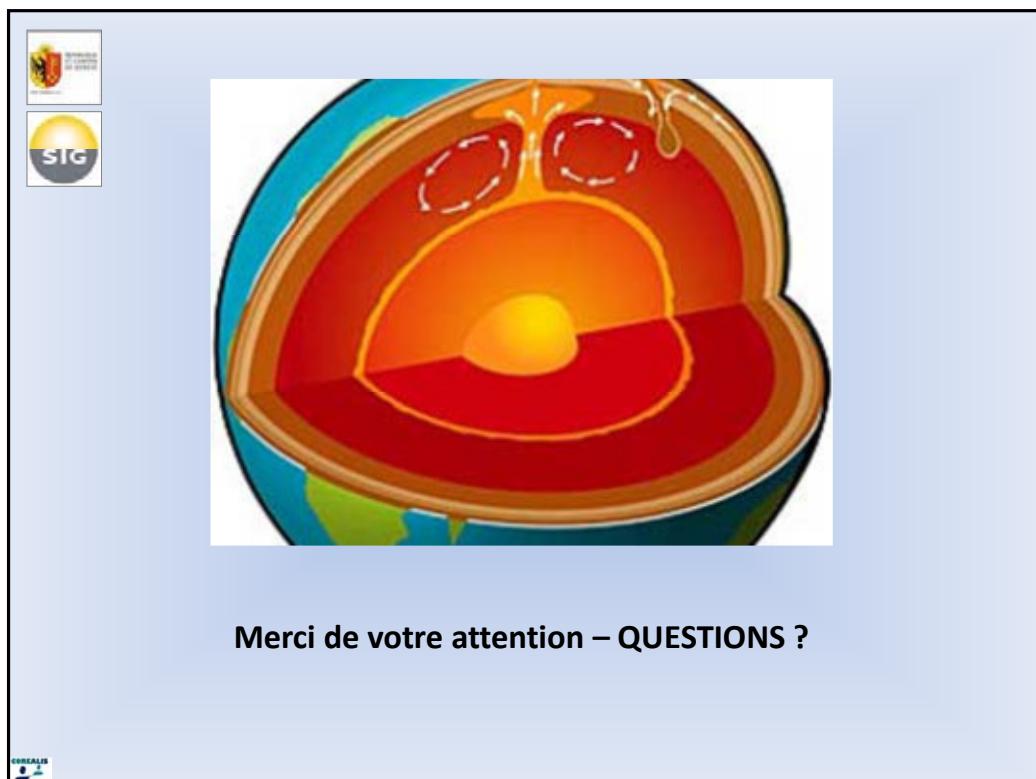
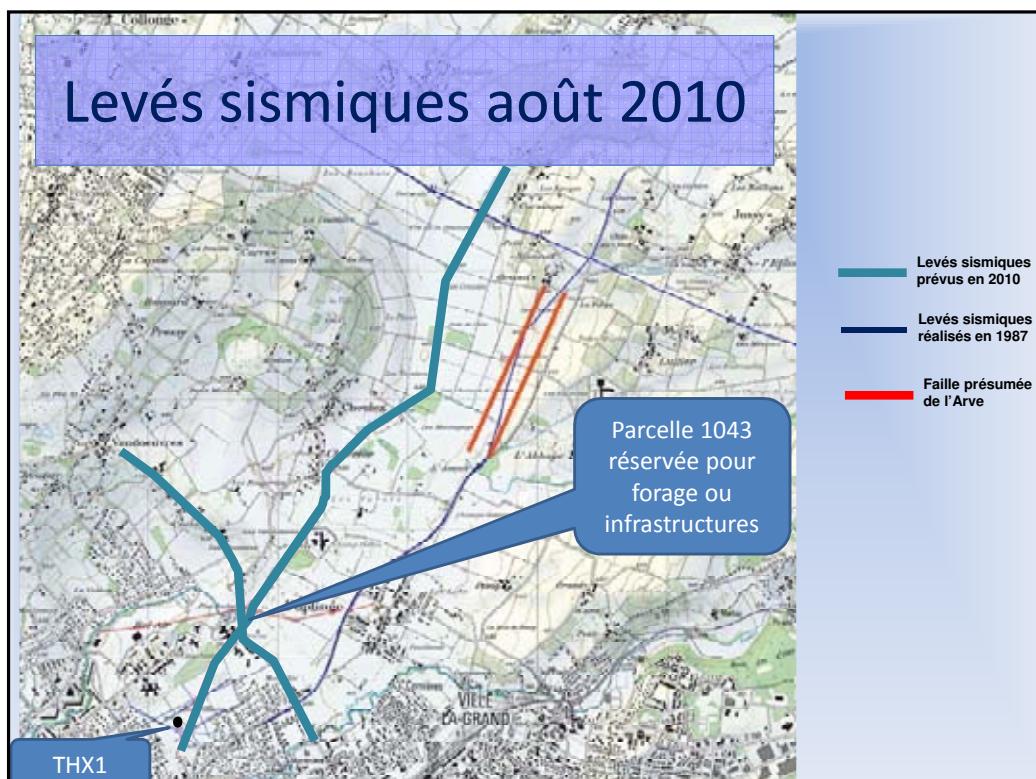
Projet 2

2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015









Formation en géothermie et Méthodes d'exploration applicables dans des projets de géothermie profonde

**Eva Schill, F. Vuataz, P. Klingler,
P. Baillieux, Y. Abdelfettah,
J. Geiermann, H. Deckert, S. Koch**



Eva Schill / 05.10.10



Master in hydrogeology and geothermics

DESCRIPTION DES COURS

- Le Master of science (maîtrise universitaire ès sciences), spécialisé en hydrogéologie et géothermie est une formation de 120 ECTS. Cette formation a été accréditée par la Conférence universitaire suisse (CUS) sur la base du rapport final de l'Organe d'accréditation et d'assurance-qualité des hautes écoles suisses (OAQ).



Eva Schill / 05.10.10



Master in hydrogeology and geothermics

DESCRIPTION DES COURS

Modules

Module commun 1

Hydrogéologie générale, Environnements hydrogéologiques, Environnements hydrogéologiques, Hydrochimie et Microbiologie, Traceurs naturels et artificiels

Module commun 2

Introduction à la géothermie, Géothermie de basse température et faible profondeur, Hydrodynamique et Processus de transport, Camp de cartographie géologique

Module commun 3

Analyse quantitative de donnée et modélisation statistique, Modélisation et simulation numérique, Géologie appliquée, géotechnique et risques naturels

45 ECTS



Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel



Master in hydrogeology and geothermics

DESCRIPTION DES COURS

Module 4-G spécifique géothermie

Transport de chaleur
Modélisation avancée des réservoirs
Exploration
Simulation numérique des processus géothermiques
Méthodes d'ingénierie géothermique
Exploitation des réservoirs
Hydrogéochimie et prospection des fluides géothermiques

30 ECTS

Séminaire bibliographique, Camp de terrain, Excursions et voyage d'étude

15 ECTS

Travail de Master

45ECTS

Total Master spécialisé en Hydrogéologie-Géothermie 120 ECTS



Eva Schill / 05.10.10

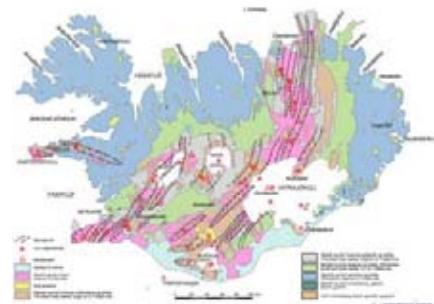
Université de Neuchâtel



VOYAGE D'ETUDES EN ISLAND

Islande:

Systèmes géothermique en haute enthalpie



Central à Svartsengi:

Problème de dépôt de Si-amorphe



chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université
de Neuchâtel

TRAVAIL DE MASTER ET PROJETS DE RECHERCHE

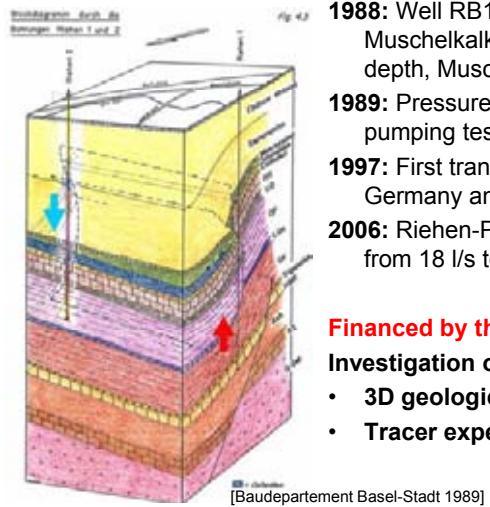
- Projet « Riehen Plus » :
 - Augmentation du débit de actuellement 18 l/s à 23 l/s
 - Master thèses de Philip Klingler
 - But de projet:
 - La caractérisation géologique et hydrogéologique du réservoir géothermique de Riehen BS pour l'estimation des conséquences techniques d'augmentation de débit
 - Contribution for geological modeling from:
P. Huggenberger and H. Dresemann (Uni Basel)

chyn

Eva Schill / 05.10.10

unige

1988: Hydrothermal project Riehen



1988: Well RB1 (producer, 1547 m depth, Muschelkalk, 65 °C) et RB2 (injector, 1247 m depth, Muschelkalk, 52.2 °C)

1989: Pressure connection demonstrated in a pumping test [Hauber et al., 1989]

1997: First trans-border heating system between Germany and Switzerland

2006: Riehen-Plus: Enhancement of the production from 18 l/s to 23 l/s

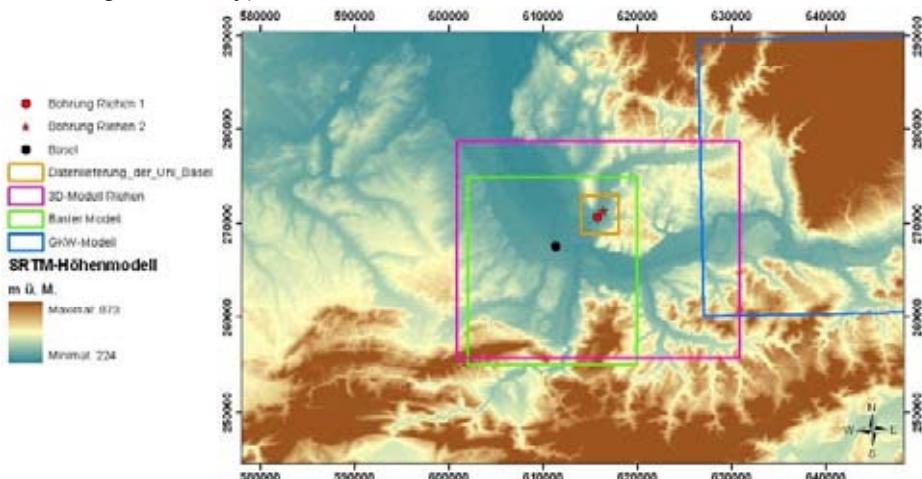
Financed by the Bundesamt für Energie BfE:

Investigation of the fluid transport :

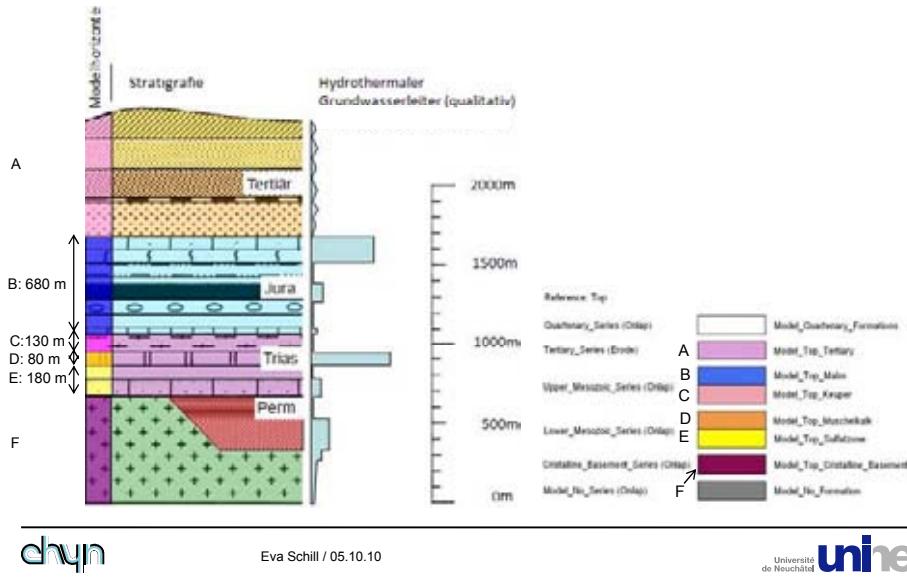
- 3D geological modeling and gravity
- Tracer experiment since 03.11.2009

3D geological model

Elevation model: SRTM-Daten (Shuttle Radar Topography Mission – US Geological Survey)

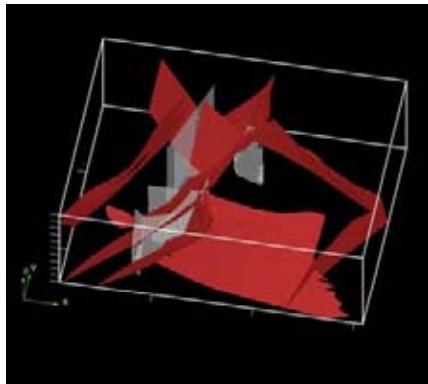


Model stratigraphy



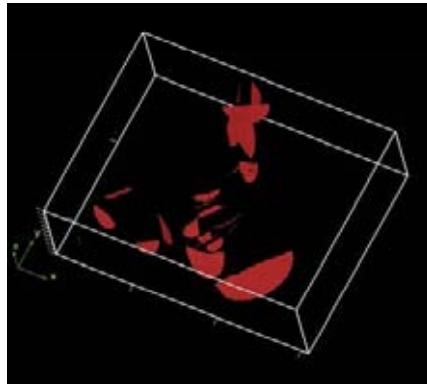
Fault modelling

Main faults



- Infinite structures
- Constant offset
- Fault can only be terminated by another

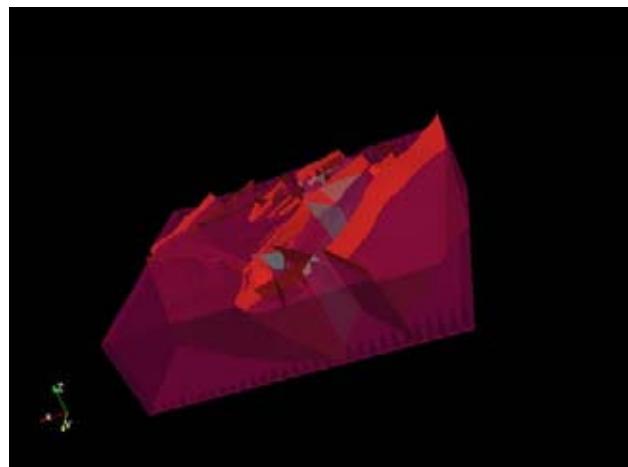
Minor faults



- Finite Ellipses
- Horizontal and vertical extension, radius of influence
- Maximum offset in the middle, smaller towards end

3D geological model Riehen

Formation Top basement



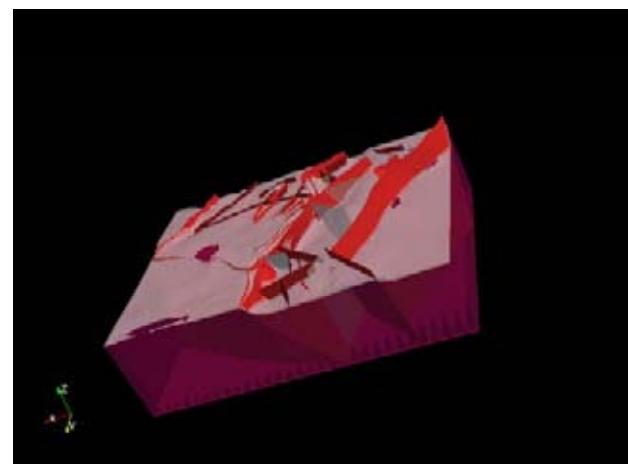
chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université
de Neuchâtel **uni**ne

3D geological model Riehen

Formation Top sulfate zone



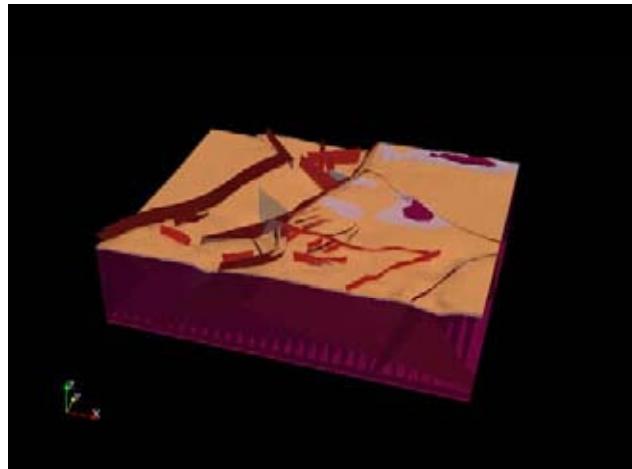
chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université
de Neuchâtel **uni**ne

3D geological model Riehen

Formation Upper Muschelkalk



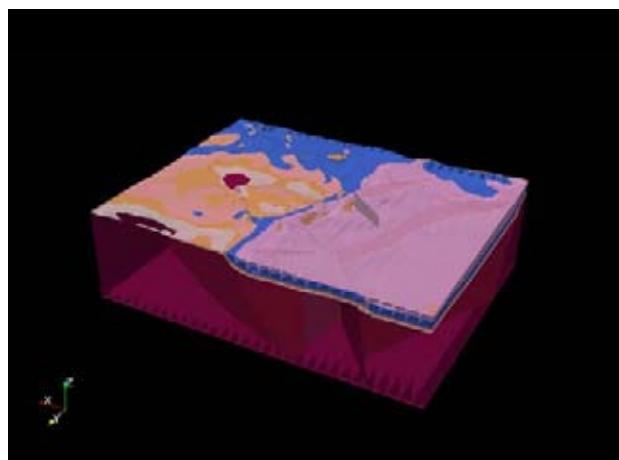
chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel uniNE

3D geological model Riehen

Complete model



chyn

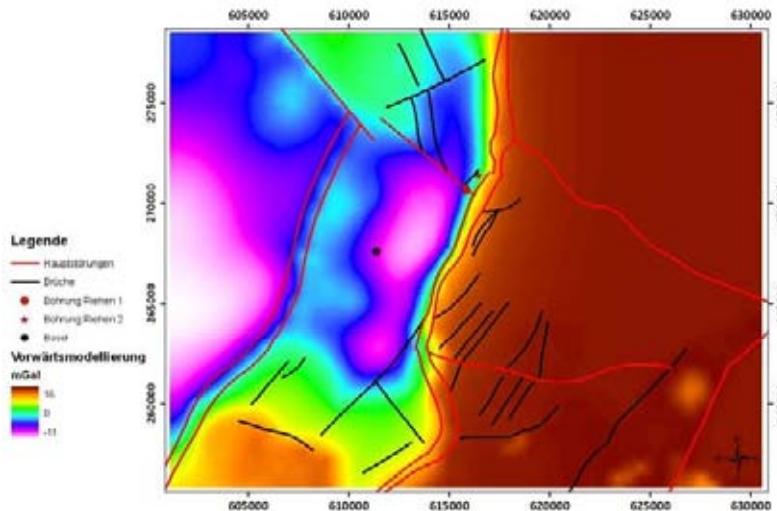
Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel uniNE

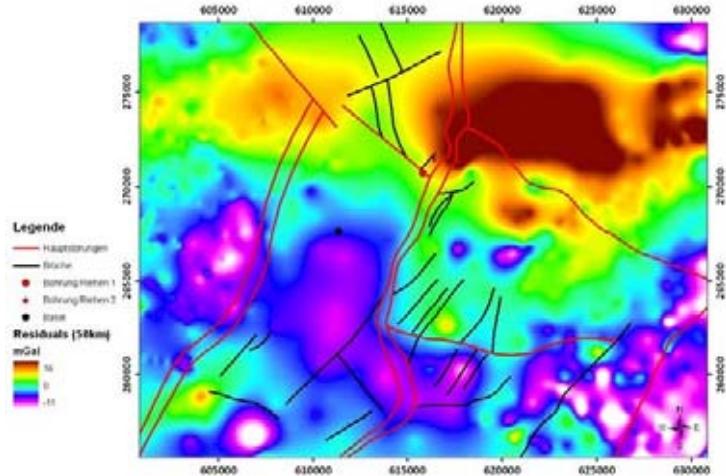
Major characteristics of the model

- The crystalline basement and paleozoic sediments (Perm and Carboniferous) are undifferentiated
- Inhomogenous data distribution in the input data, thus differences in the uncertainty of the modell, e.g. NW of the boundary fault

Verification of the geological model using gravity – forward model

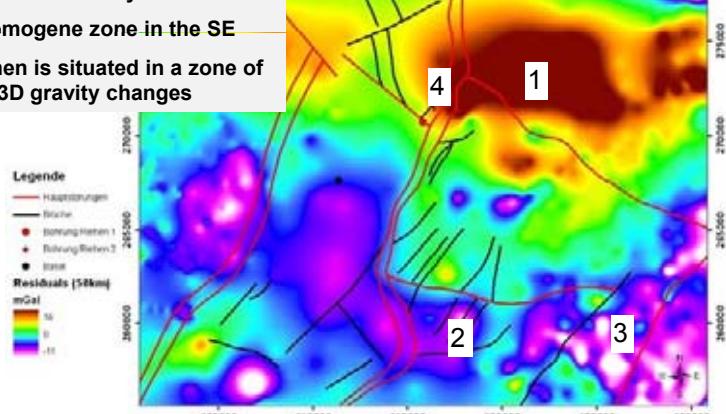


Verification of the geological model using gravity – residual anomaly



Verification of the geological model using gravity – residual anomaly

- [1] Positive anomaly in the N
- [2] Negative anomaly in the S
- [3] Inhomogene zone in the SE
- [4] Riehen is situated in a zone of strong 3D gravity changes



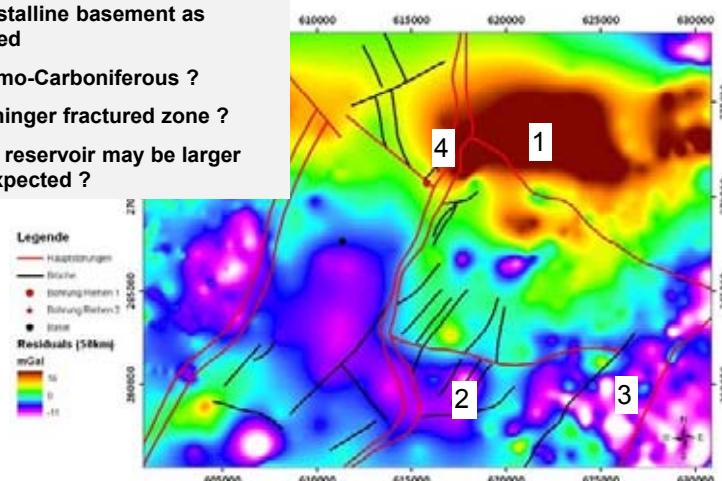
Verification of the geological model using gravity – residual anomaly

[1] Crystalline basement as expected

[2] Permo-Carboniferous ?

[3] Zeininger fractured zone ?

[4] The reservoir may be larger than expected ?



Permo-Carboniferous troughs

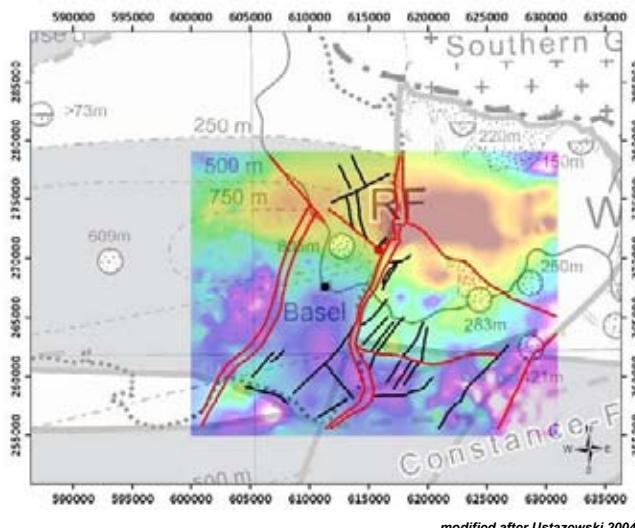
Legende

- Hauptstörungen
- Brüche
- Bohrung Riehen 1
- Bohrung Riehen 2
- Basal

Residuals (80km)

mGal

-11 0 16

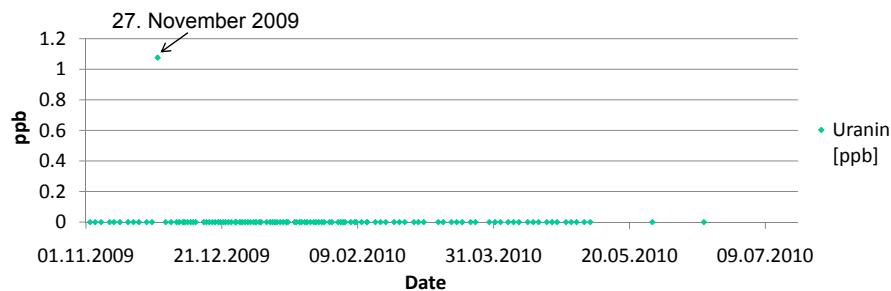


Tracer Test

- 10 kg Uranin-powder (Reactolab) with 1000 l water
- **Injection:**
03.11. 2009 between 12:30h and 14:10h
Pump: JEXM 80D pressure from the well of 3.3 bar
- Aim: Hydraulic connection between the injection and the production well ?

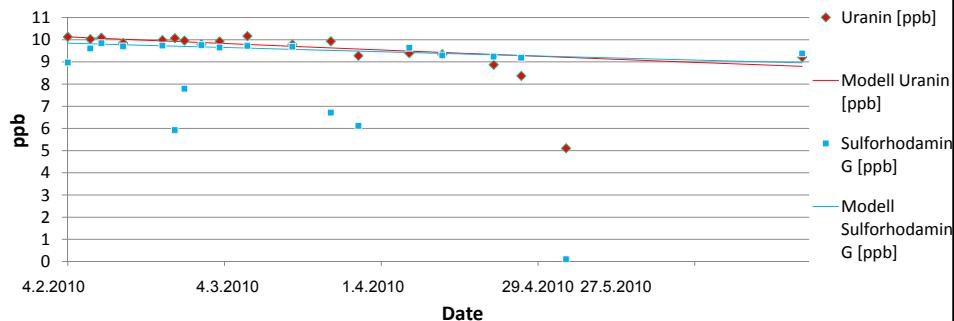


Determination of Uranin in the samples from the production well



- Within the experiment no connection between the injection and production well could be observed

Experiment on thermal degradation of Uranin

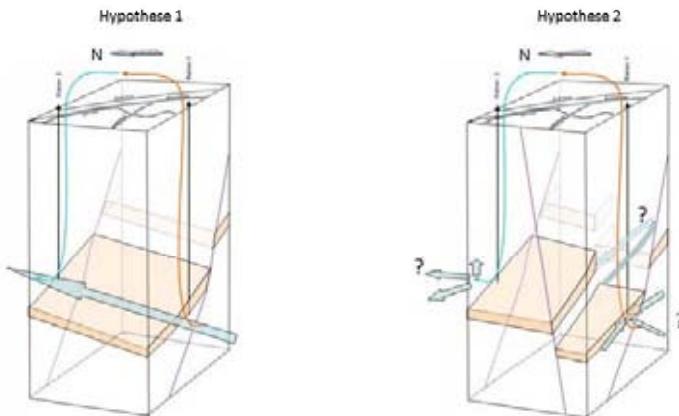


Dissolution with 10 ppb Uranin and Sulforhodamin G during 4 month in the heater at 65°C

$$\text{Constant of decay } k \text{ Uranin: } 1.24 \cdot 10^{-8} \quad C = C^0 e^{-k \cdot t}$$

$$\text{Constant of decay } k \text{ Sulforhodamin G: } 8.34 \cdot 10^{-9}$$

Possible regional flow field
Strong groundwater flow from the production to the injection well **Weil am Rhein fault separates the aquifer in two parts**



Criteria for potential resources

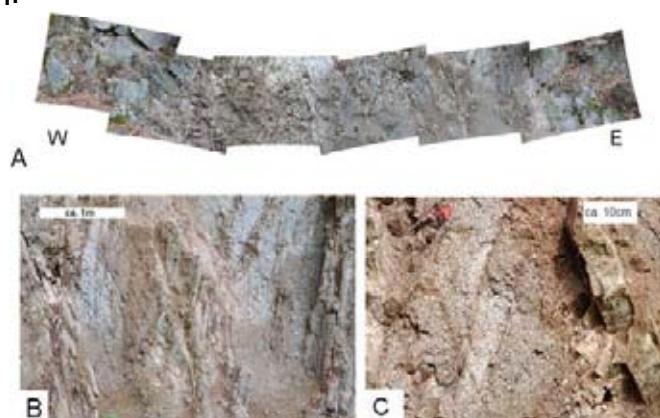
- Temperature (depth of the resource)
- Hydrocarbons
- Stimulus
- Seismic
- Resources
- Energy
- Utilization

Problems:

- 1) How to determine the volume of fault zones ?
- 2) How to determine the permeability ?
- 3) How to detect the geothermal fluid ?

Analog studies at the surface – southern Black Forest

- 15m large cataclasite zone between Tiefenstein and Görwihl



Deckert, 2010

Fracture volume

- Fractured volume calculation by analysis of leakoff

$$\frac{dV}{dt} = Q_{injected} - Q_{leakoff}$$

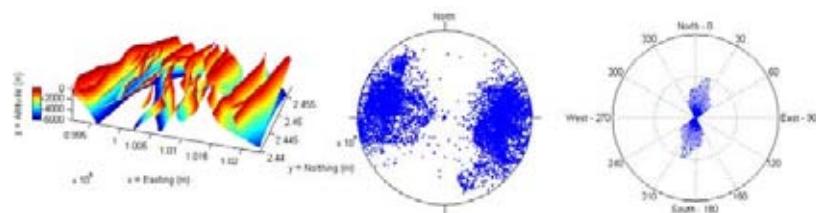
$$Q_{leakoff} = \int_{fracture} v_{leakoff} dA$$

$$v_{leakoff} = \frac{k}{\mu} \frac{p_{fracture} - p_{residual}}{d_{penetrated}}$$

$$d_{penetrated} = \int_0^t v_{leakoff} dt$$

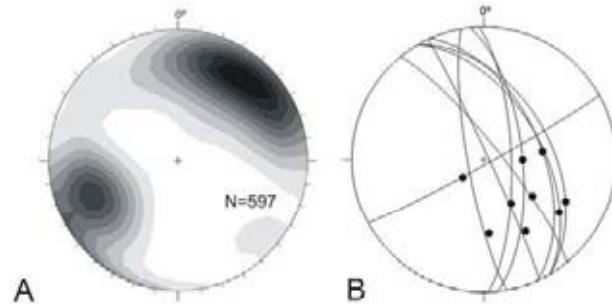
3D geological model

- Fracture system in the area of Soultz-sous-Forêts



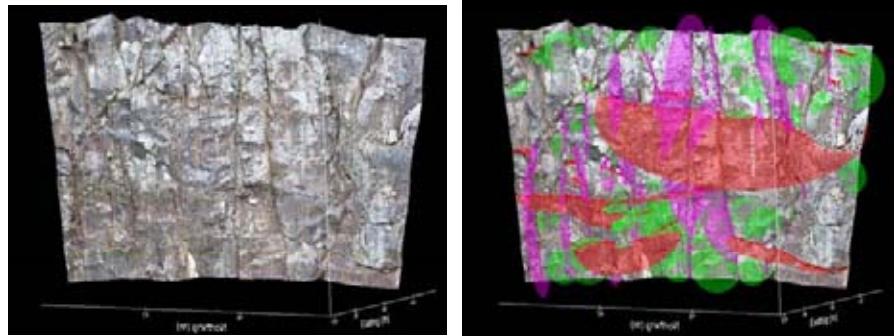
Analog studies at the surface

- 15m large cataclasite zone between Tiefenstein and Görwihl: orientation of fractures with shearing



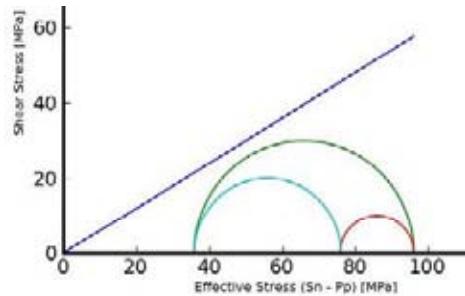
Analog studies at the surface

- 15m large cataclasite zone between Tiefenstein and Görwihl

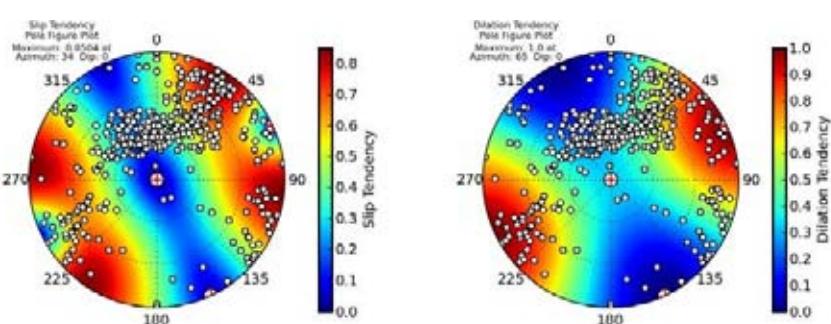


Assumption

- Recent stress field in the Rhine valley after Buchmann & Conolly 2007

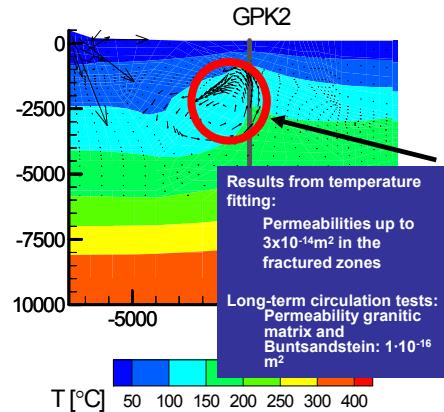


Slip and dilation tendency of fractures



Challenge: Porosity / Permeability of fault zones

Temperature and circulation test



NPHI (neutron porosity)

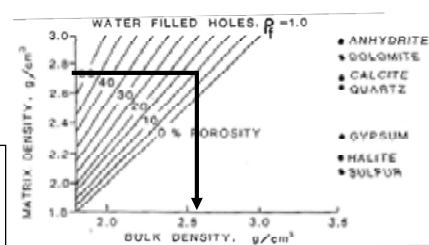
- NPHI reveals (Genter, 1989)
- Mean porosity of unaltered granite: 1.5%
- Mean porosity of granite in the reservoir: 7.78%

Porosity φ and its relation to geophysical measurements

- Porosity φ (% or $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
Volume of voids per total volume:
The effective advective flow porosity φ_a of the total system, matrix φ_m , (generally small) and fractures φ_f : $\varphi_a \sim \varphi_f$.

$$\varphi_a = \frac{S}{h \cdot \rho \cdot g \cdot c_w}$$

Density ρ (kg m^{-3})
Earth's acceleration g (m s^{-2})
Storativity S
Compressibility of water c_w
Thickness of aquifer h (m)



- Empirical relationship for the resistivity of a completely saturated rock (ρ_0) is given by Archie (1942)

$$\frac{\rho_0}{\rho_f} = F = \varphi_a^{-m}$$

Formation factor F
Cementation factor $-m$
(slope of ρ_0 as a function of φ on a log-log plot)

3D inversion of gravity data (after Mosegaard and Tarantola, 1995)

E-W profiles



N-S profiles



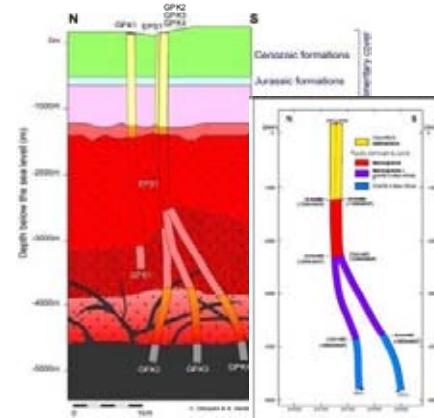
Conclusion for the porosity at Soultz

Anomaly due to porosity changes

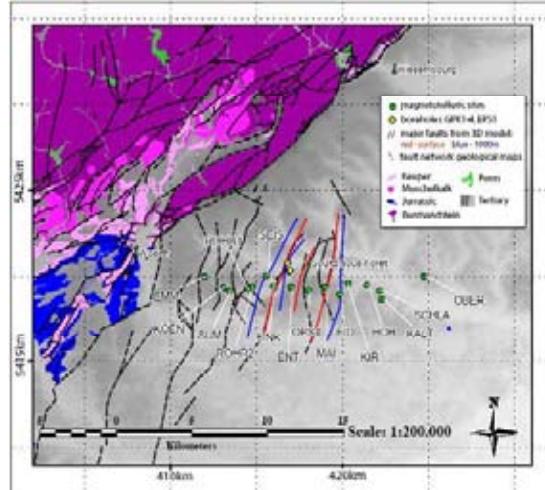
- Mean density of granite about $d = 2750 \text{ kg m}^{-3}$
- Mean density of granitic area around Soultz about $d = 2500 \text{ kg m}^{-3}$
- Estimate of porosity necessary to reduce the mean density by 250 kg m^{-3} with brine saturated porosity with a brine density $d = 1000 \text{ kg m}^{-3}$: about 15% (observed mean density in the reservoir zone: 7.75 %)

Anomaly due to granitic facies changes

(Dezares and Genter, 2010)



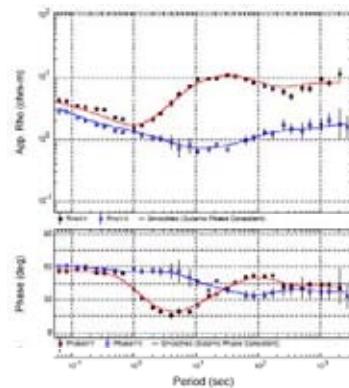
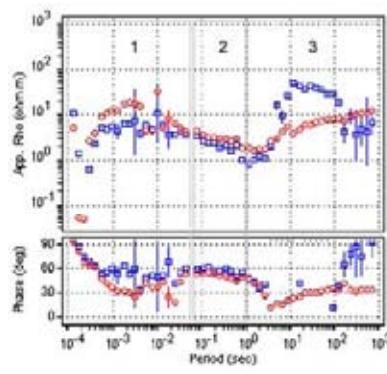
Challenge : Prospection of fluid-bearing fault zones



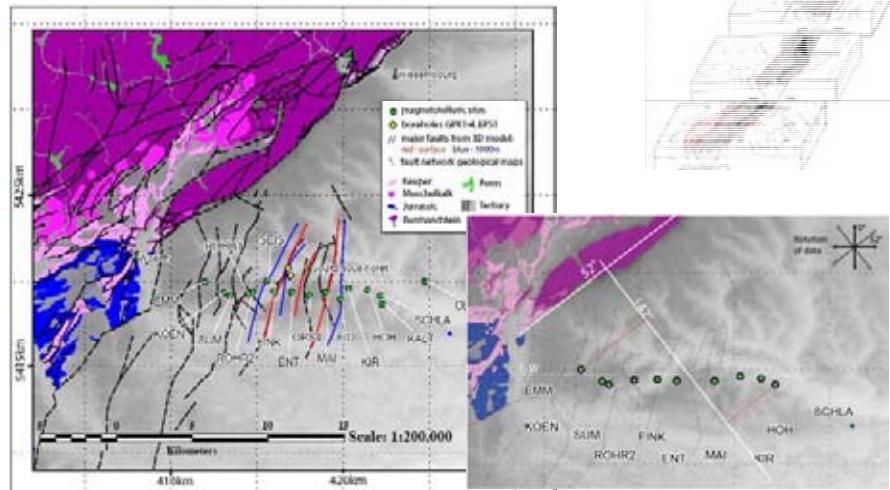
Transfer functions of EMM

Entire frequency range (Mapros, unrotated)

LF-2 band (WinGLink, rotated by 52°)



Rotation of data by 52° due to main strike anomaly

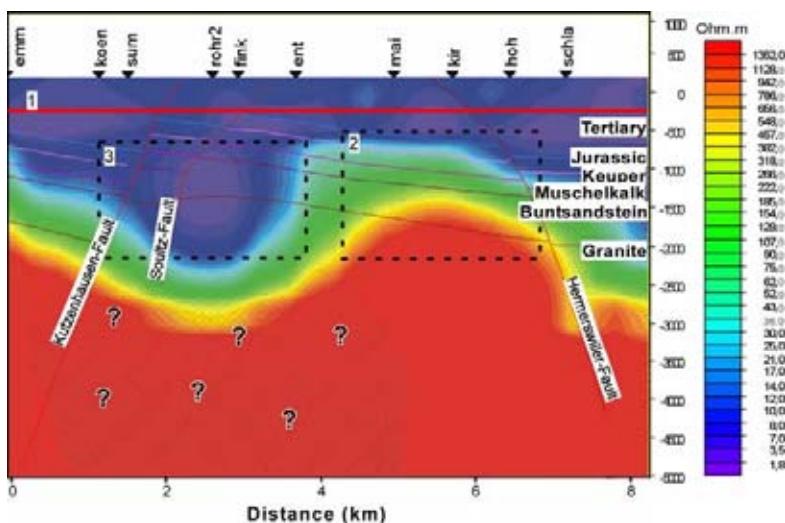


chyn

Eva Schill / 05.10.10

Université de Neuchâtel unine

2D inversion results



chyn

Eva Schill / 05.10.10

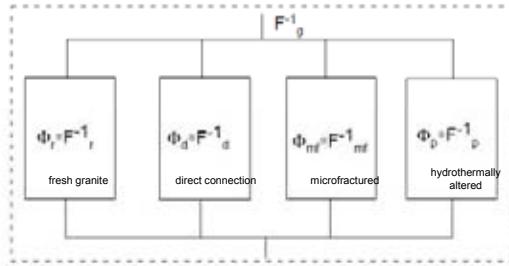
Université de Neuchâtel unine

Archie's Law (1942)

Zones of elevated porosity and high fracture density (metric to hecto-metric scale) cluster at various depths and are considered to be interconnected (Dezayes et al. 2008).

Conceptual resistivity model based on Archie's Law and geological data:
(based on average porosity values of the main alteration facies for determining the formation factor F)

$$\rho_b = \rho_f \cdot F_g = \rho_f \frac{1}{(\Phi_r F_r^{-1} + \Phi_d F_d^{-1} + \Phi_{mf} F_{mf}^{-1} + \Phi_p F_p^{-1})}$$

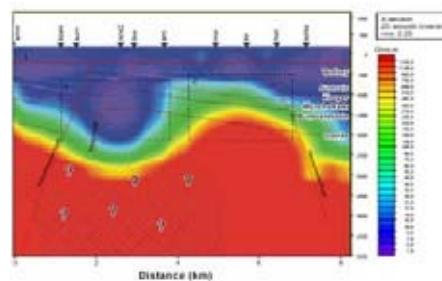


Conclusions for the porosity at Soultz

BUNTSANDSTEIN

- Area 2: For an unaltered Buntsandstein (brine salinity of 100 g l⁻¹) with an effective porosity of 1.5 % Archie's law predicts a bulk resistivity of 129 Ωm at 1000 m depth.
- Area 3: A bulk resistivity of 4.3 Ωm results from a mean porosity of 7.78% for the Buntsandstein in the reservoir zone at 1300 m depth

In the granite, however, the measured mean resistivity is of order 10² higher than resistivity calculated out of mean porosity .



Magnetotelluric measurements (temperature)

Why magnetotellurics?

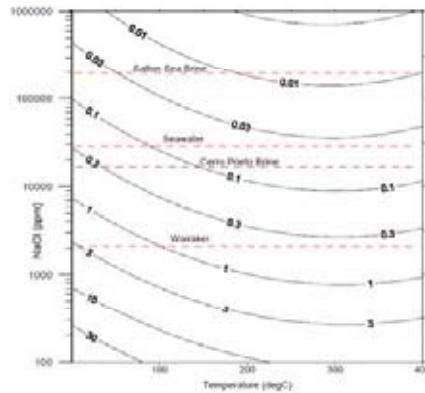
Variation of resistivity (in Ωm) of NaCl solutions from measurements of Ucok et al. (1980). The salinity of several well known geothermal fields are shown for reference.

$$\rho_f(T) = \frac{\rho_f(18^\circ\text{C})}{1 + \alpha(T - 18^\circ\text{C})}$$

$\alpha = 0.025 [1/\text{ }^\circ\text{C}]$ temperature compensation factor

$\rho_f(T)$ = resistivity at an arbitrary temperature
 $\rho_f(18^\circ)$ = resistivity at standard temp. $T = 18^\circ\text{C}$

(Hayashi, 2004)



Soultz $T = 200^\circ\text{C}$ $\rho_f(T) = 0.02 \Omega\text{m}$

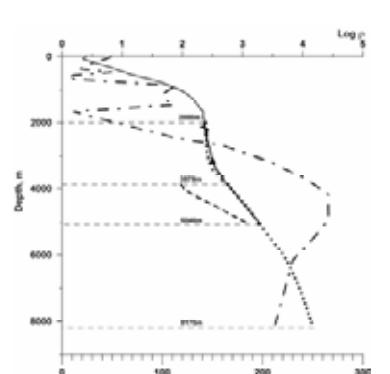
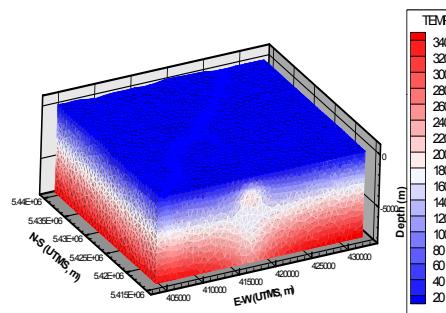
Ussher et al. (2000)



Eva Schill / 05.10.10



Temperature from electric resistivity using neuronal network



Comparison between the temperature log in the well GPK2 (solid line) with estimated temperature profiles (crosses) for the depth ranges 2000m - 3878m, 3878m - 5046 m and 5046 m - 8175m. The temperature forecast from the depth range 0-2000m directly to the depth range 3878m -5046 m is shown with dashed line. Adjacent log resistivity profile is marked by dashed – dotted line.

Spichak et al. (in prep.)



Eva Schill / 05.10.10

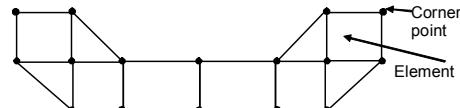


New developments – Inversion of MT in an existing THMC coupled FE code

Spatial discretisation:

Anyhow formed volume can be
discretised by corner points

2-D Example:



Integration

Integrationsmethode => Differential equations have to be transformed into integral form

Integral form of a differential equation in the area Ω : $\int \lambda \nabla^2 T \, d\Omega - \int [\rho c_p]_f \cdot \mathbf{v} \cdot \nabla T \, d\Omega = 0$

Partielle Integration with a interpolation function ω (1. Green's Formular):

$$\int_{\Omega} \nabla \omega \cdot \lambda \nabla T \, d\Omega - \int_{\Omega} [\rho c_p]_f \cdot \omega \cdot \mathbf{v}_D \cdot \nabla T \, d\Omega - \underbrace{\int_{\Gamma} \omega \cdot h \, d\Gamma}_{\text{BOUNDARY CONDITION!}} = 0 \Rightarrow \text{no 2nd derivative}$$

Γ is the boundary and h the flux through the boundary